



TUGAS AKHIR - TL 141584

**PENGARUH TEGANGAN PROTEKSI DAN
KETEBALAN CAT TERHADAP KEKUATAN
ADHESI DAN PERMEABILITAS COATING
DALAM PENGUJIAN CATHODIC
DISBONDING PADA BAJA API 5L GRADE B
DI LINGKUNGAN AIR LAUT**

DONNY PRASETYA ATMAJI
NRP 2712 100 124

Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan ST, M,Eng.
Budi Agung Kurniawan ST, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



TUGAS AKHIR – TL 141584

**EFFECT OF PROTECTION VOLTAGE AND
THICKNESS OF PAINT ON ADHESIVE
STRENGTH AND PERMEABILITY OF
COATING IN CATHODIC DISBONDING
TEST IN API 5L GRADE B STEEL AT
MARINE ENVIRONMENT**

DONNY PRASETYA ATMAJI
NRP 2712 100 124

Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan ST, M.Eng.
Budi Agung Kurniawan ST, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

**PENGARUH TEGANGAN PROTEKSI DAN
KETEBALAN CAT TERHADAP KEKUATAN
ADHESI DAN PERMEABILITAS COATING
DALAM PENGUJIAN CATHODIC
DISBONDING PADA BAJA API 5L GRADE
DI LINGKUNGAN AIR LAUT**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Material dan Metalurgi
pada

Bidang Studi Korosi dan Kegagalan Material
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknik Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DONNY PRASETYA ATMAJI
NRP 2712 100 124

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr. Agung Purniawan ST ,M.Eng(Pembimbing I)

Budi Agung Kurniawan ST, M.Sc.....(Pembimbing II)



PENGARUH TEGANGAN PROTEKSI DAN KETEBALAN CAT TERHADAP KEKUATAN ADHESI DAN PERMEABILITAS COATING DALAM PENGUJIAN CATHODIC DISBONDING PADA BAJA API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN AIR LAUT

Nama Mahasiswa : Donny Prasetya Atmaji
NRP : 2712 100 124
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Agung Purniawan, ST, M. Eng
Budi Agung Kurniawan, ST, M.Sc

ABSTRAK

Korosi adalah masalah utama penyebab terjadinya kegagalan pada material terutama pada *pipeline* yang merupakan peralatan untuk menyalurkan minyak atau gas bumi dari reservoir, dimana biasanya ditempatkan pada kondisi atau lingkungan yang cukup ekstrim atau korosif. Biasanya untuk mencegah atau mengurangi terjadinya korosi dilakukan proteksi atau perlindungan pada *pipeline*, perlindungan yang paling umum dilakukan adalah melapisi dengan lapisan proteksi atau *coating*. Selain dengan lapisan proteksi cara lain untuk mencegah korosi adalah dengan proteksi katodik, bahkan pasti dilakukan proteksi ganda atau penggunaan bersama antara *coating* dengan proteksi katodik ini atau yang sering digunakan bersama *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP). Tetapi penggunaan bersama ini justru akan merusak lapisan *coating* ketika tegangan proteksinya tidak sesuai dengan yang seharusnya, dimana dapat menimbulkan cacat pada *coating* seperti blistering atau akan mengurangi kekuatan adhesi pada *coating* karena air yang masuk akibat arus yang mengalir. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh tegangan proteksi serta ketebalan dari lapisan cat terhadap kekuatan adhesi dan permeabilitas dari *coating*, dalam kondisi pengujian *cathodic*

disbonding, atau penggunaan bersama *coating* dan ICCP. Dimana variabel yang digunakan untuk tegangan proteksi adalah tanpa ICCP, -0,85V, -1,1V, -1,3V, dan -1,5V, sedangkan untuk variabel ketebalan cat yang digunakan adalah 150, 200, 250, dan 300 mikron. Pengujian yang dilakukan setelah dilakukan aplikasi *coating* maka spesimen API 5L Grade B yang digunakan dilakukan pengujian adhesi awal untuk mengetahui kekuatan lekat awal dari cat sebelum dilakukan pengujian *cathodic disbonding*. Pengujian *cathodic disbonding* dan permeabilitas dilakukan didalam larutan NaCl 3,5% selama 28 hari untuk setiap variasi tegangan. Dari hasil Pengujian didapatkan nilai diameter disbonding paling besar yaitu 32 mm terdapat pada tegangan proteksi -1,5 volt dengan ketebalan 150 mikron, sedangkan *disbonding* paling kecil terdapat pada tegangan proteksi tanpa arus dengan ketebalan 200 mikron sebesar 3,3 mm. Untuk nilai daya lekat paling besar yaitu 4,76 MPa pada variasi tegangan proteksi -1,1 dan ketebalan 300 mikron dengan *adhesive failure* 23,757%, sedangkan nilai daya lekat paling rendah terdapat pada variasi tegangan proteksi -1,3 volt dan ketebalan 150 mikron dengan nilai daya lekat sebesar 1,98 MPa dimana prosentase *adhesive failure* yang terjadi adalah sebesar 54,009%.

Kata Kunci : Coating, Tegangan Proteksi, ICCP, Ketebalan, Cathodic Disbonding, Permeabilitas, Adhesi

EFFECT OF PROTECTION VOLTAGE AND THICKNESS OF PAINT ON ADHESIVE STRENGTH AND PERMEABILITY OF COATING IN CATHODIC DISBONDING TEST IN API 5L GRADE B STEEL AT MARINE ENVIRONMENT

Student Name : Donny Prasetya Atmaji
NRP : 2712 100 124
Department : Teknik Material dan Metalurgi - ITS
Advisor : Dr. Agung Purniawan, ST, M. Eng
Budi Agung Kurniawan, ST, M.Sc

ABSTRACT

Corrosion is a major causes of the failure of the material, especially in the pipeline which is the equipment to transport oil or gas from the reservoir, which is usually placed on extreme or corrosive environment. Corrosion protection is performed on the pipeline to prevent or reduce the occurrence of corrosion. The most common method for corrosion protection is by coating with protective layer. The other method to prevent corrosion is cathodic protection, or Impressed Current Cathodic Protection (ICCP). Coating and cathodic protection can be use simultaneously on the same device, but unfortunately it might damage the coating layer when the voltage protection is not as it should be, which can lead to defects in the coating such as blistering or reduces the adhesion strength of the coating because the incoming water due to the current flowing. This study was conducted to determine how the influence of the voltage protection as well as the thickness of the paint layer on the adhesion strength and permeability of the coating, the cathodic disbonding test conditions, or the joint use of coatings and ICCP. Where variables are used for voltage protection is without current, -0,85V, -1,1V, -1,3V, and -1,5V, while the variable thickness of the paint used is 150, 200, 250, and 300 microns.

Tests conducted after the application of coating on specimens API 5L Grade B testing is used to determine the initial adhesion strength of initial adhesion of the paint before testing cathodic disbonding. Cathodic disbonding and permeability testing is performed in 3.5% NaCl solution for 28 days for each voltage variations. Test results obtained from disbonding the greatest diameter value is 32 mm for a voltage -1,5 volt with 150 microns of thickness, while the smallest of disbonding on voltage without current protection with 200 microns of thickness is 3,3 mm. For the greatest adhesion value is 4,76 MPa on -1,1 voltage variation and a thickness of paint is 300 microns with adhesive failure 23,757%, while the lowest value of adhesion on -1,3 volt protection voltage variation and a thickness of paint 150 microns with value of adhesion is 1,98 Mpa which percentage of adhesive failure that occurred amounted to 54,009%

Keyword : Coating, Protection Voltage, ICCP, Thickness, Cathodic Disbonding, Permeability, Adhesion

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan bagi Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Salawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada baginda Rasulullah SAW yang selalu menjadi suri tauladan kita kepada kebenaran dan kebaikan. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk menyelesaikan pendidikan guna memperoleh gelar Kesarjanaan Teknik sesuai dengan kurikulum di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

Terima Kasih penulis ucapkan kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan Tugas Akhir ini:

1. Bapak Dr. Agung Purniawan ST, M.Eng. dan Bapak Budi Agung Kurniawan ST, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran, bimbingan, arahan dan masukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Segenap dosen Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah memberikan ilmu dan bimbingan selama proses perkuliahan
3. Seluruh Staf dan Karyawan Jurusan Teknik Material dan metalurgi yang telah sangat banyak membantu
4. Bapak Laransanto serta rekan-rekan CV. Cipta Agung yang membantu proses penelitian ini

Masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, semoga semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi semua.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penulisan laporan tugas akhir ini, penulis mendapat dukungan dan bantuan dari banyak pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Teguh Atmaji, Ibu Lina Marlina, Gerry Praditya Atmaji, dan seluruh keluarga yang selalu memberikan segala yang terbaik untuk saya, menyayangi dan mendukung saya. Semoga selalu dalam lindungan-Nya.
2. Marcell, Anam, Muhyidin, Ozha, dan Rosena selaku teman sekelompok bimbingan Tugas Akhir Bapak Dr. Agung Purniawan ST.,M,Eng. yang selalu memberikan semangat, dukungan dan menemani saya dalam proses.
3. Keluarga Laboratorium Metalurgi Zulikifli, Oliv, Vicky, Tio, dan Cunika yang selalu kompak, sejahtera, aman dan sentosa. Semoga semua sukses dan lancar selalu.
4. Keluarga Laboratorium Korosi Anis, Tata, Indah, Eka, Ilmal, Gilang, Fajar yang memberikan dukungan serta tempat berdiskusi yang baik, semoga selalu dilancarkan.
5. Keluarga MT 14 yang selama ini telah memberikan banyak cerita luar biasa selama hampir 4 Tahun.
6. Teman-teman satu kontrakan Sukolilo Dian Regency Bahagia II 47, Fadhil, Erdin, Bram, Faris, Kuku, Angga, Ozi, Arsyad, Rifqi, dan Yogie yang menemani diakhir perjalanan perkuliahan ini, semoga jalan yang terbaik selalu ada bersama kalian.
7. Keluarga Kecil tempat berdiskusi dan tempat saling Berbagi Adi, Dayu, Yogie, Marcell, Bram, Qory, Daniel, Ihsan, Laisa, Wasik, Dhani, Majdi, Yogi, dan Andika.
8. Adik – Adik MT 15 dan MT 16 yang memberikan banyak dukungan kepada penulis dan kerja sama yang baik selama di masa perkuliahan.
9. Mas dan Mbak MT 10, MT 11, MT 12 dan MT13 yang memberikan banyak pembelajaran dan bimbingan selama

di masa perkuliahan. Terima kasih atas kebersamaannya yang hangat.

10. Mas Deni dan Pak Dedik dari CV. Cipta Agung yang banyak membantu dalam proses pengaplikasian serta beberapa pengujian untuk data penelitian ini.

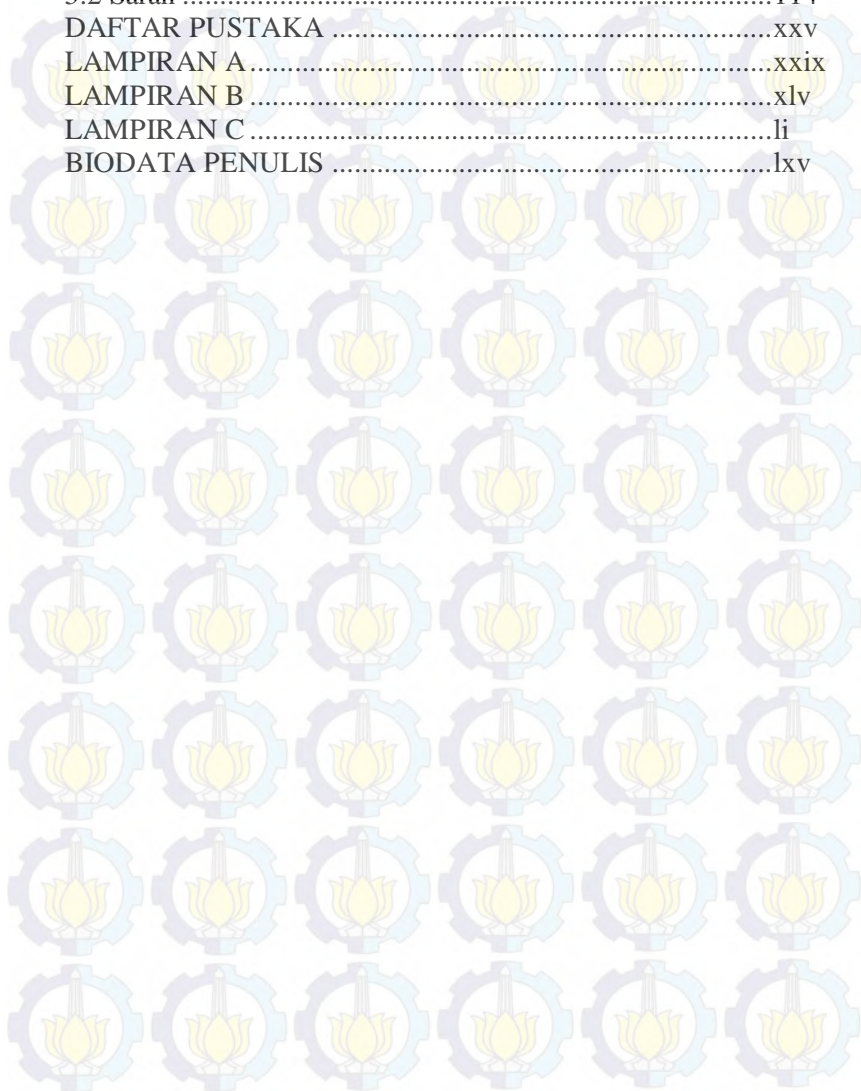
Seluruh Karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi dukungan kepada penulis dan kerja sama yang baik selama di masa perkuliahan.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Korosi.....	5
2.2 Korosi pada Pipeline di Lingkungan Air Laut.....	8
2.2.1 Mekanisme Korosi <i>Pipeline</i> di Lingkungan Air Laut.....	8
2.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Korosi.....	16
2.2.2 Korosi Pada Media Air Laut.....	19
2.2.2 Standar Material Pipeline.....	21
2.3 Metode Pengendalian Korosi.....	23
2.3.1 Desain yang Baik.....	23
2.3.2 Pemilihan Material.....	24
2.3.3 Proteksi Katodik.....	24
2.3.4 Inhibitor.....	25
2.3.5 Mengkondisikan Lingkungan.....	26
2.3.6 Lapisan Pelindung.....	26
2.4 Impressed Current Cathodic Protection.....	27
2.4.1 Potensial Elektroda Setengah Sel.....	28
2.4.2 Elektroda Acuan.....	29
2.4.3 Anoda.....	30

2.5 Organic Coating	32
2.5.1 Mekanisme Proteksi	32
2.5.2 Sistem Pelapisan	35
2.5.3 Komposisi Pelapisan Organik	36
2.5.4 Mekanisme Pembentukan Film	39
2.5.5 Sifat dari Lapisan	41
2.6 Persiapan Permukaan	45
2.6 Cathodic Disbondment	51
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	55
3.2 Alat Penelitian.....	56
3.3 Bahan Penelitian.....	62
3.4 Metode Penelitian.....	63
3.5 Prosedur Penelitian.....	64
3.5.1 Preparasi Spesimen	64
3.5.2 Pengujian Spektrometer	64
3.5.3 Persiapan Permukaan	64
3.5.4 Aplikasi Coating.....	66
3.5.5 Preparasi Elektrolit.....	68
3.5.6 Pembuatan Rangkaian ICCP	68
3.5.7 Pengujian Cathodic Disbonding	70
3.5.8 Pengujian Permeabilitas	70
3.5.9 Pengujian kekuatan Adhesi	73
3.5.10 Pengujian Salt Spray	73
3.5.11 Pengamatan Makro dan Mikro	74
3.6 Rancangan Penelitian	75
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengujian Spektrometer	77
4.2 Pengujian Adhesi Awal	77
4.3 Pengamatan Makro dan Mikro	80
4.4 Pengujian Salt Spray	83
4.5 Pengujian Permeabilitas	88
4.6 Pengujian Cathodic Disbonding	100
4.7 Pengujian Adhesi Pasca Cathodic Disbonding	110
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	

5.1 Kesimpulan	113
5.2 Saran	114
DAFTAR PUSTAKA	xxv
LAMPIRAN A	xxix
LAMPIRAN B	xliv
LAMPIRAN C	li
BIODATA PENULIS	lxv



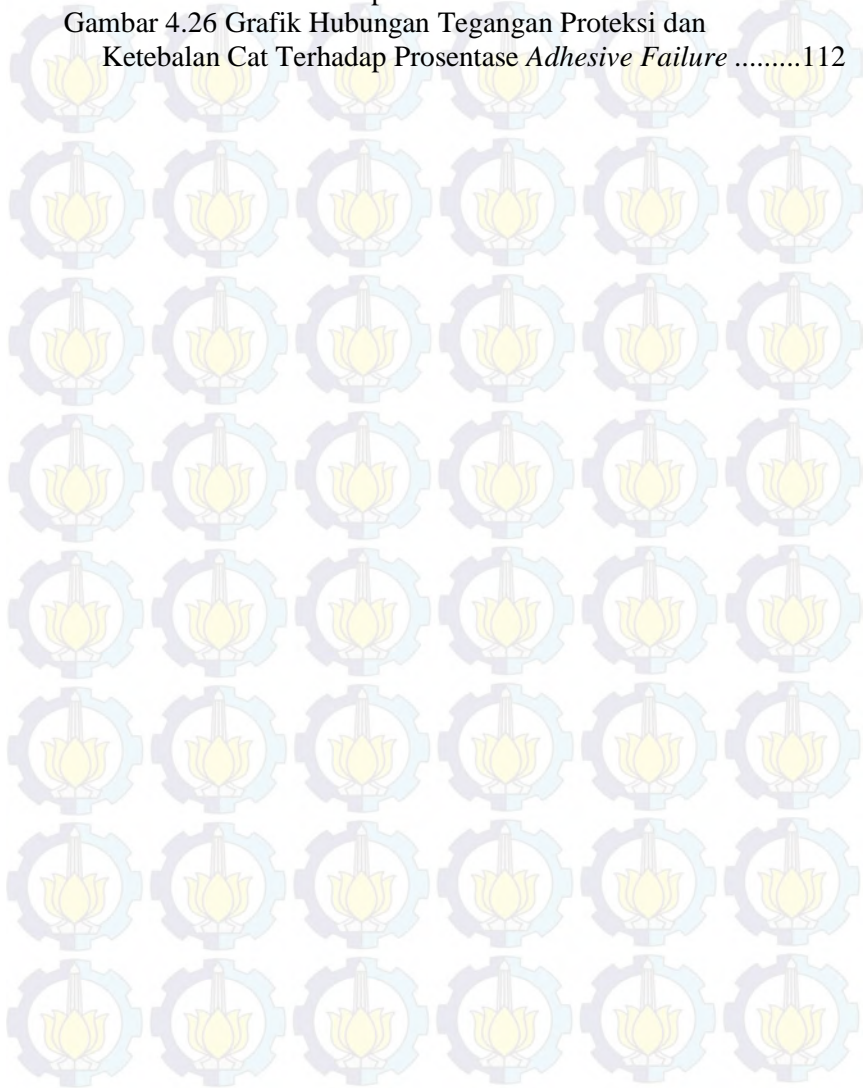
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Metalurgi Ekstraksi dan Korosi	5
Gambar 2.2 Sel Elektrolit Sederhana.....	7
Gambar 2.3 Representasi Diagramatik pada Permukaan Baja Menunjukkan Anoda dan Katoda	8
Gambar 2.4 Tipe Laju Korosi pada Baja di Lingkungan Air Laut	10
Gambar 2.5 Korosi pada <i>Splash Zone</i>	11
Gambar 2.6 Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi	12
Gambar 2.7 Korosi Lingkungan pada Besi.....	13
Gambar 2.8 Diagram E-pH Besi di Lingkungan Air pada Temperatur 25°C	15
Gambar 2.9 Pengaruh Kelarutan Oksigen Terhadap Laju Korosi	18
Gambar 2.10 Hubungan Konsentrasi Oksigen Terlarut Terhadap Temperatur	18
Gambar 2.11 Rangkaian Sistem ICCP.....	28
Gambar 2.12 Konsep Lapisan Penghalang	33
Gambar 2.13 Konsep Lapisan Inhibisi	34
Gambar 2.14 Konsep Proteksi Katodik	34
Gambar 2.15 Komposisi Penyusun Coating	36
Gambar 2.16 Mekanisme Pembentukan Film.....	40
Gambar 2.17 Nilai Karat Grade A.....	46
Gambar 2.18 Nilai Karat Grade B	46
Gambar 2.19 Nilai Karat Grade C	47
Gambar 2.20 Nilai Karat Grade D.....	47
Gambar 2.21 Persiapan Permukaan Sa3	48
Gambar 2.22 Persiapan Permukaan Sa2½	49
Gambar 2.23 Persiapan Permukaan Sa2	50
Gambar 2.24 Persiapan Permukaan Sa1	51
Gambar 2.25 Inisiasi Blistering pada Daerah Holiday.....	52

Gambar 2.26 Mekanisme <i>Cathodic Disbondment</i> Lapisan Cat pada Baja dalam Larutan Jenuh $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan NaCl	53
Gambar 3.1 Diagram Air Penelitian	55
Gambar 3.2 Alat <i>Sand Blasting</i>	56
Gambar 3.3 <i>Roughness Meter</i>	57
Gambar 3.4 <i>Conventional Spray</i>	57
Gambar 3.5 <i>Comb Gauge</i>	58
Gambar 3.6 <i>Electronic Gauge</i>	58
Gambar 3.7 Neraca Analitik	59
Gambar 3.8 Alat uji Kekuatan Adhesi	59
Gambar 3.9 Mikroskop Stereo	60
Gambar 3.10 Mikroskop Optik	60
Gambar 3.11 <i>Container Box</i>	61
Gambar 3.12 Multimeter	61
Gambar 3.13 Rectifier	62
Gambar 3.14 <i>Sand Blasting</i>	65
Gambar 3.15 $\text{Sa}2 \frac{1}{2}$ Hasil <i>Sand Blasting</i>	65
Gambar 3.16 Mekanisme Penggunaan <i>Comb Gauge</i>	66
Gambar 3.17 Aplikasi Coating	67
Gambar 3.18 Proses Pengeringan	67
Gambar 3.19 Skema Rangkaian ICCP	69
Gambar 3.20 Skema Rangkaian ICCP Penelitian	69
Gambar 3.21 Pengujian Cathodic Disbonding	70
Gambar 3.22 Pengujian Permeabilitas	71
Gambar 3.23 Tingkatan Blistering yang Dapat Terjadi	72
Gambar 3.24 <i>Pull Off Test</i>	73
Gambar 3.25 Pengujian Sembur Kabut Garam	74
Gambar 4.1 Grafik Nilai Daya Lekat Terhadap ketebalan	79
Gambar 4.2 Pola <i>Adhesive Failure</i>	79
Gambar 4.3 Hasil Foto Makro Perbesaran 32x	80
Gambar 4.4 Hasil Foto Mikro Perbesaran 50x	81
Gambar 4.5 Hasil Foto Mikro Perbesaran 200x	82
Gambar 4.6 Grafik Pelebaran Cat Hasil Salt Spray	86
Gambar 4.7 Foto Hasil Pengujian Salt Spray NaCl 3,5%	87

Gambar 4.8 Sampel Uji Permeabilitas Metode <i>Immersion</i> Selama 28 hari Tanpa ICCP	89
Gambar 4.9 Sampel Uji Permeabilitas Metode <i>Immersion</i> Selama 28 hari Tanpa ICCP	90
Gambar 4.10 Sampel Uji Permeabilitas Metode <i>Immersion</i> Selama 28 hari Tegangan Proteksi -0,85V	91
Gambar 4.11 Sampel Uji Permeabilitas Metode <i>Immersion</i> Selama 28 hari Tegangan Proteksi -0,85V	92
Gambar 4.12 Sampel Uji Permeabilitas Metode <i>Immersion</i> Selama 28 hari Tegangan proteksi -1,1 V	93
Gambar 4.13 Sampel Uji Permeabilitas Metode <i>Immersion</i> Selama 28 hari Tegangan proteksi -1,1 V	94
Gambar 4.14 Sampel Uji Permeabilitas Metode <i>Immersion</i> Selama 28 hari Tegangan Proteksi -1,3V	95
Gambar 4.15 Sampel Uji Permeabilitas Metode <i>Immersion</i> Selama 28 hari Tegangan Proteksi -1,3V	96
Gambar 4.16 Sampel Uji Permeabilitas Metode <i>Immersion</i> Selama 28 hari Tegangan Proteksi -1,5V	97
Gambar 4.17 Sampel Uji Permeabilitas Metode <i>Immersion</i> Selama 28 hari Tegangan Proteksi -1,5V	98
Gambar 4.18 Sampel Setelah Pengujian <i>Cathodic Disbonding</i> Selama 28 hari Tanpa ICCP	102
Gambar 4.19 Sampel Setelah Pengujian <i>Cathodic Disbonding</i> Selama 28 hari Tegangan Proteksi -0,85V	103
Gambar 4.20 Sampel Setelah Pengujian <i>Cathodic Disbonding</i> Selama 28 hari Tegangan Proteksi -1,1V	104
Gambar 4.21 Sampel Setelah Pengujian <i>Cathodic Disbonding</i> Selama 28 hari tegangan Proteksi -1,3V	105
Gambar 4.22 Sampel Setelah Pengujian <i>Cathodic Disbonding</i> Selama 28 hari Tegangan Proteksi -1,5V	106
Gambar 4.23 Grafik Hubungan Tegangan Proteksi dan Ketebalan Cat Terhadap pH Larutan	107
Gambar 4.24 Grafik Hubungan Tegangan Proteksi dan Ketebalan Cat Terhadap Diameter <i>Disbonding</i>	109

Gambar 4.25 Grafik Hubungan Tegangan Proteksi dan Ketebalan Cat Terhadap Kekuatan Adhesi	111
Gambar 4.26 Grafik Hubungan Tegangan Proteksi dan Ketebalan Cat Terhadap Prosentase <i>Adhesive Failure</i>	112



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tingkat Korosi pada Lingkungan	9
Tabel 2.2 Efek dari Garam Laut pada Korosi Baja	9
Tabel 2.3 Kelarutan Oksigen dalam Air	17
Tabel 2.4 Unsur Pokok dalam Media Air Laut	19
Tabel 2.5 Komposisi Kimia PSL 1 API 5L	22
Tabel 2.6 Komposisi Kimia PSL 2 API 5L	22
Tabel 2.7 Kekuatan Tarik PSL 1 API 5L	23
Tabel 2.8 Kekuatan Tarik PSL 2 API 5L	23
Tabel 2.9 Kondisi Permukaan Logam Baja pada Berbagai Nilai Potensial	29
Tabel 2.10 Elektroda Pembanding	30
Tabel 2.11 Beberapa Anoda yang Digunakan Pada Sistem ICCP	31
Tabel 2.12 Laju Konsumsi Anoda Grafit	31
Tabel 2.13 Persyaratan Sistem Pelapisan	35
Tabel 3.1 Komposisi Kimia API 5L Grade B	62
Tabel 3.2 Komposisi Cat Epoksi	63
Tabel 3.3 Komposisi Pelarut	63
Tabel 3.4 Rancangan Penelitian	75
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B	77
Tabel 4.2 Nilai Daya Lekat terhadap Variasi Ketebalan	78
Tabel 4.3 Tingkat Korosi Uji Sembur Kabut Garam Metode Scratch	84
Tabel 4.4 Data Pelebaran dan Rating Sampel Pengujian Sembur Kabut Garam Metode Scratch	85
Tabel 4.5 Tingkatan Blistering pada Sampel Pengujian Permeabilitas	99
Tabel 4.6 Hasil Pengujian <i>Cathodic Disbonding</i>	101
Tabel 4.7 Nilai Daya Lekat Setelah Pengujian Cathodic Disbonding	110



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pipeline merupakan salah satu peralatan yang terbuat dari baja yang berfungsi untuk menyalurkan minyak atau gas bumi dari reservoir yang biasanya berada di lepas pantai (*offshore*) menuju ke *processing unit* untuk diolah lebih lanjut. Karena *pipeline* berada didaerah air laut, maka pipa harus dirancang sedemikian rupa agar bisa bertahan dalam kurun waktu tertentu. Hal ini harus diperhatikan karena pentingnya peranan dari pipa dalam industri minyak dan gas bumi. Salah satu permasalahan yang dihadapi adalah korosi pada *pipeline*.

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengendalikan korosi dari *pipeline* ini adalah dengan mengisolasi permukaan pipeline ini dengan pelapisan (*coating*), namun untuk membuat terjadinya korosi menjadi semakin kecil maka biasanya digunakan proteksi ganda terhadap *pipeline*, biasanya digunakan arus tanding (*impressed Current Cathodic Protection-ICCP*) dari proteksi katodik, guna mendapatkan perlindungan yang lebih efektif. Proteksi katodik tidak dapat berdiri sendiri tanpa pelapisan karena struktur tanpa pelapisan membutuhkan proteksi arus yang besar dan juga biaya yang sangat tinggi. Pelapisan dibutuhkan untuk mengurangi jumlah permukaan yang terbuka seminimal mungkin. Namun penggunaan bersama *coating* dengan ICCP ini akan menimbulkan kerugian apabila penerapannya tidak sesuai atau kurang tepat, seperti dengan arus yang tidak sesuai atau berlebihan justru malah akan merusak lapisan dari *coating*, hal ini disebabkan oleh proses elektroendosmosis yaitu memaksa air melewati lapisan, karena itu *coating* harus memiliki ketahanan *Cathodic Disbondment* yang baik.



Penggunaan tegangan proteksi yang tidak sesuai dapat menyebabkan kerusakan pada *coating* dimana *coating* menjadi lepas dari logamnya, karena itu tegangan proteksi dapat mempengaruhi dari kekuatan adhesi pada *coating*. Maka perlu adanya ketebalan yang sesuai pada tegangan proteksi yang tepat sehingga membuat *coating* menjadi lebih efektif jika digunakan bersama ICCP agar ketahanan *cathodic* menjadi baik, sehingga kekuatan adhesif dan sifat permeabilitasnya menjadi sesuai.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi tegangan proteksi terhadap kekuatan adhesi, permeabilitas, dan ketahanan *cathodic disbondment* pada *coating*
2. Bagaimana pengaruh variasi ketebalan cat terhadap kekuatan adhesi, permeabilitas, dan ketahanan *cathodic disbondment* pada *coating*

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dan pembahasan menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut :

1. Material *coating* dianggap tercampur merata
2. Tingkat kekasaran dan kebersihan substrat dianggap sama
3. Kondisi lingkungan dianggap sama dengan kondisi lingkungan laut

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pelaksanaan penelitian ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh variasi tegangan proteksi terhadap kekuatan adhesi, permeabilitas, dan ketahanan *cathodic disbondment* pada *coating*
2. Menganalisa pengaruh variasi ketebalan cat terhadap



kekuatan adhesi, permeabilitas, dan ketahanan *cathodic disbondment* pada *coating*

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat menjadi referensi dalam pengendalian korosi dengan penggunaan *coating* organik dan proteksi katodik bersama pada pipeline *oil and gas*
2. Hasil penelitian dapat dijadikan informasi yang saling melengkapi dan komprehensif dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya terkait penggunaan bersama *coating* dan ICCP



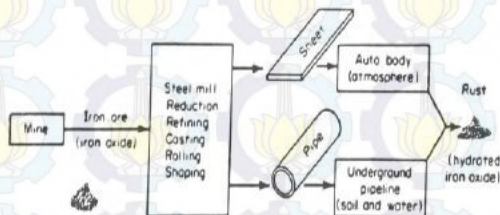
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi

Korosi dapat didefinisikan sebagai kerusakan dari material karena reaksi dengan lingkungan disekitarnya. Beberapa menyebutkan bahwa definisi ini hanya dibatasi untuk logam, tetapi sering *corrosion engineer* harus mempertimbangkan baik logam maupun non-logam untuk solusi penyelesaian suatu masalah. Korosi dari logam dapat dipandang seperti kebalikan dari proses ekstraksi metalurgi, dimana ekstraksi metalurgi merupakan proses pengolahan dari bijih kemudian dilakukan peleburan dan pemurnian sampai menjadi logam yang siap digunakan, sedangkan korosi adalah kebalikan dimana logam kembali ke kondisi awal dialam karena reaksi dengan alam. Banyak bijih besi mengandung oksida dari besi, dan karat dari baja oleh air dan oksigen adalah hasil dalam hidrasi oksida besi. Pengkaratan adalah kondisi yang umumnya terjadi untuk korosi baja dan besi, walaupun banyak logam lainnya terbentuk dari oksida ketika korosi terjadi). Gambar 2.1 menunjukkan fenomena kembalinya logam ke kondisi awal dialam karena reaksi dengan alam. (Fontana, 1987)



Gambar 2.1 Metalurgi Ekstraksi dan Korosi(Fontana, 1987)



Mekanisme terjadinya korosi yang terjadi pada logam disebabkan adanya reaksi yang melibatkan dua reaksi setengah sel, yaitu reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda dan anoda yang terjadi dalam suatu proses korosi adalah sebagai berikut. (Jones, 1992)

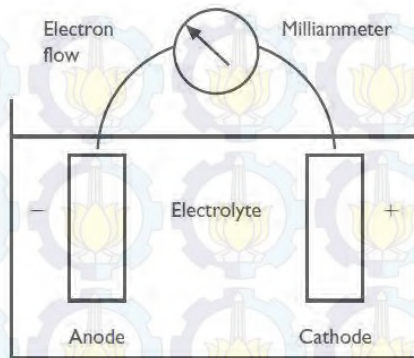
1. Anoda : $M \rightarrow M^{n+} + ne^{-}$
2. Katoda :
 - a. Evolusi hidrogen (asam) : $2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$
 - b. Reduksi air (netral/basa) : $H_2O + 2e^{-} \rightarrow H_2 + 2OH^{-}$
 - c. Reduksi oksigen (asam) : $O_2 + 4H^{+} + 4e^{-} \rightarrow 2H_2O$
 - d. Reduksi Oksigen : $O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$
 - e. Reduksi ion logam : $M^{3+} + e^{-} \rightarrow M^{2+}$
3. Elektrolit

Suatu reaksi reduksi dan oksidasi dapat terjadi apabila antara anoda dan katoda terdapat elektrolit. Elektrolit berfungsi menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan arus *elektroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka semakin cepat elektrolit menghantarkan arus listrik. Beberapa lingkungan yang dapat bersifat katoda antara lain lingkungan air, atmosfer gas, mineral *acid*, tanah, dan minyak.

4. Kontak Metalik (*Metallic Pathway*)

Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda.

Baja memiliki sebuah lapisan proteksi yang lemah pada permukaannya, dengan adanya uap air dan oksigen korosi terjadi. Korosi adalah reaksi elektrokimia, pada dasarnya proses yang terjadi sama dengan proses pada sel elektrolit sederhana, dimana bahan utamanya adalah sebuah sel dengan dua elektroda yaitu anoda dan katoda digabungkan oleh konduktor eksternal dan tercelup didalam sebuah elektrolit, dapat dilihat seperti pada gambar 2.2 (Bayliss, 2002)



Gambar 2.2 Sel Elektrolit Sederhana (Bayliss, 2002)

Korosi terjadi pada anoda dari sel dan sedikit atau bahkan tidak terjadi pada katoda. Jika logam atau paduan yang berbeda dihubungkan dalam kondisi pada elektrolit salah satunya akan mengalami peningkatan karat sedangkan lainnya akan hanya sedikit mengalami karat atau bahkan tidak sama sekali. Hal tersebut muncul karena perbedaan potensial ketika logam yang berbeda dihubungkan. Bagaimanapun jika salah satu dari dua bagian pada baja mengalami oksidasi, dan udara terperangkap disekitarnya atau elektrolit menjadi panas dekat salah satu bagian baja, arus akan mengalir. Intinya adalah variasi pada logam atau lingkungannya dapat menghasilkan kondisi yang dibutuhkan untuk mengatur sebuah sel dengan korosi yang terjadi pada anoda. Sebenarnya terdapat perbedaan kecil pada permukaan dari baja. Jika sepotong baja di polish dan dietsa, lalu diamati dengan mikroskop, maka strukturnya umumnya akan terlihat memiliki butir, hal ini menghasilkan perbedaan potensial kecil pada permukaannya, jadi sebenarnya suatu baja yang sama pun memiliki perbedaan potensial yang berbeda pada permukaannya sehingga akan ada bagian yang mengalami karat terlebih dahulu dibandingkan bagian lainnya. Gambar 2.3 menunjukkan perbedaan potensial dalam satu batang logam (Bayliss, 2002)



Gambar 2.3 Representasi Diagramatik pada Permukaan Baja, Menunjukkan anoda dan Katoda (Bayliss, 2002)

2.2 Korosi pada Pipeline di Lingkungan Air Laut

2.2.1 Mekanisme Korosi Pipeline di Lingkungan Air Laut

Dasar reaksi korosi sama baik untuk yang tercelup didalam air maupun dipermukaan yang langsung dengan udara. Bagaimanapun, terdapat perbedaan dalam proses yang terjadi, didalam air ketersediaan oksigen adalah suatu faktor yang sangat penting, sedangkan pada korosi di udara tidak terjadi dengan tidak adanya uap air. Karenanya, pada korosi didalam air umumnya tidak dapat dinilai dengan tidak adanya oksigen. Kondisi dibawah air memerlukan lebih banyak faktor yang diperhitungkan dari pada korosi pada lingkungan atmosfer. Tingkat korosi yang terjadi pada lingkungan dapat dilihat pada tabel 2.1 (Bayliss, 2002)



Tabel 2.1 Tingkat Korosi pada Lingkungan (Bayliss, 2002)

Class	Annual metal loss	Exterior
Very low-low	<10–200 g/m ²	Rural areas, low pollution, dry
Medium	200–400 g/m ²	Urban and industrial atmospheres Moderate SO ₂ pollution Moderate coastal Cl ⁻
High	400–650 g/m ²	Industrial and coastal
Very high industrial	650–1500 g/m ²	Industry with high humidity and aggressive atmosphere
Very high marine	650–1500 g/m ²	Marine coastal, offshore, high salinity

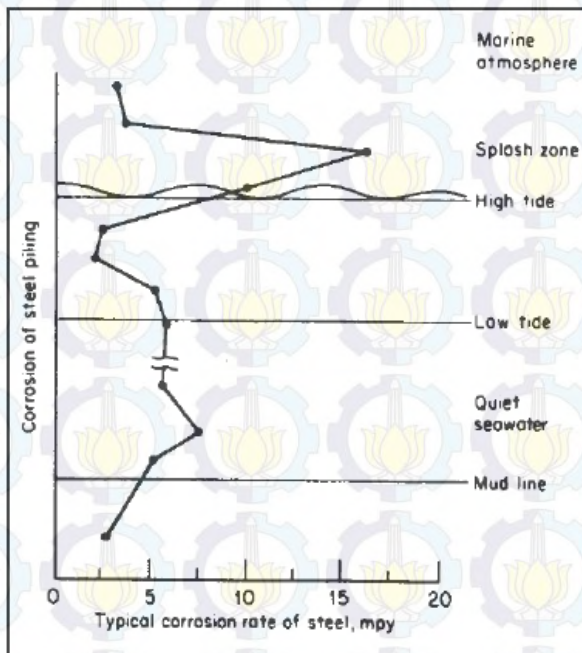
Air secara kimiawi adalah H₂O tetapi tentu didalamnya banyak mengandung unsur atau komposisi lainnya seperti garam dan gas yang ada dalam berbagai kondisi air. Air dari sungai, laut, dan muara tentunya memiliki komposisi dan sifat tersendiri. pH dari air umumnya berada pada kondisi netral (pH 4.5–8.5), tetapi beberapa jenis adalah asam dan ini dapat menimbulkan korosi pada baja. Umumnya faktor yang menentukan tipe dari korosi adalah yang melarutkannya (yang mana dipengaruhi oleh konduktifitas, kekerasan, dan pH dari air), gas yang terlarut (umumnya oksigen dan karbondioksida) dan masalah organik. Konduktifitas sangatlah penting dan keadaan dari garam seperti sodium klorid (NaCl), membuat air laut lebih korosi dari pada air yang segar. Pengaruh garam laut terhadap korosi pada baja dapat dilihat pada tabel 2.2 (Bayliss, 2002)

Tabel 2.2 Efek dari Garam Laut pada Korosi Baja(Bayliss, 2002)

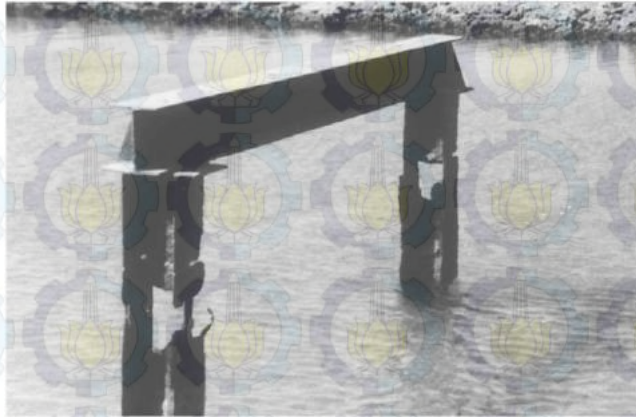
Distance from coast (yards)	Salt content of air ^a	Corrosion rate (mm per year)
50	100	0.95
200	27	0.38
400	7	0.06
1300	2	0.04



Berdasarkan pada pengukuran distribusi korosi terdapat lima area pada lingkungan laut yakni *atmospheric corrosion*, *splash zone*, *tidal zone*, *continuously submerged*, dan *subsoil*. Korosi yang paling kuat terjadi pada daerah *splash zone* karena daerah ini merupakan daerah terjadinya proses *wet* dan *dry*. Gambar 2.4 dan 2.5 menunjukkan lima area pada lingkungan laut berdasarkan pengukuran distribusi korosi dan salah satu bentuk korosi yang terjadi pada salah satu dari lima area tersebut yaitu *splash zone*. (Perez, 2004)



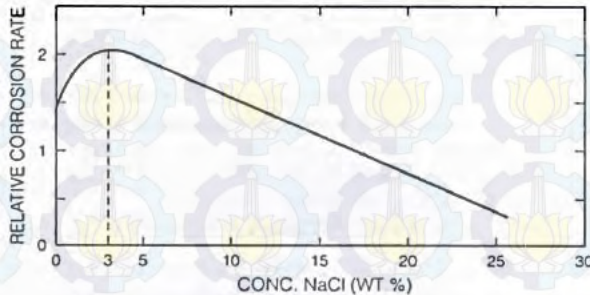
Gambar 2.4 Tipe Laju Korosi pada Baja di Lingkungan Air Laut (Perez, 2004)



Gambar 2.5 Korosi pada *Splash Zone* (Bayliss, 2002)

Konsentrasi larutan NaCl berpengaruh dalam proses korosi dalam air laut. Kandungan klorida akan menyebabkan terjadinya depasifikasi sehingga korosi akan terus terjadi. Semakin tinggi konsentrasi larutan NaCl, semakin besar pula ion klorida yang berada di sekitar logam, semakin besar pula terjadinya pencegahan timbulnya lapisan pelindung yang akan menimbulkan depasifikasi pada permukaan logam.

Jika nilai konsentrasi NaCl di dalam larutan yang teraerasi semakin besar, maka kelarutan oksigen dalam larutan tersebut akan menurun. Nilai konsentrasi naCl pada angka 3 hingga 3,5% merupakan kelarutan optimum didalam larutan NaCl teraerasi, seperti ditunjukkan pada gambar 2.6 grafik pengaruh konsentrasi NaCl terhadap laju korosi. (Jones, 1992)



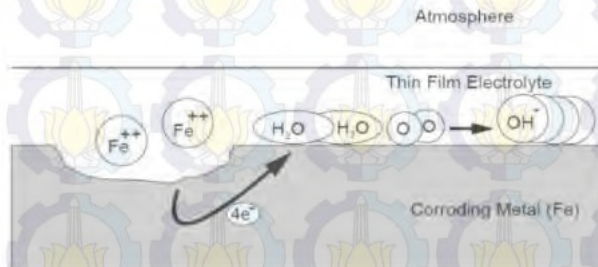
Gambar 2.6 Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi (Jones, 1992)

Berdasarkan dari gambar 2.6 bahwa laju korosi maksimum baja karbon berada pada konsentrasi NaCl sebesar 3-3,5%. Tingginya konsentrasi NaCl akan meningkatkan nilai konduktivitas, seperti yang dibahas sebelumnya maka laju korosi akan semakin tinggi. Akan tetapi, pada grafik dapat dilihat jika nilai konsentrasi NaCl melebihi 3,5% akan terjadi penurunan dari kelarutan agen pereduksi sehingga laju korosi akan berkurang. Hal ini disebabkan larutan NaCl mengalami kejenuhan dan akhirnya menimbulkan endapan yang tidak mampu bereaksi lagi. Hal ini berakibat pengurangan dari agen pereduksi didalam larutan. (Jones, 1992)

Korosi pada pipeline adalah proses elektrokimia dimana reaksi kimia dan aliran arus listrik terlibat didalamnya. Pada reaksi kimia melibatkan dua reaksi, yaitu reaksi oksidasi dan reaksi reduksi. Reaksi oksidasi di anoda, atom Fe terionisasi menjadi Fe^{2+} yang terlarut di larutan elektrolit. Elektron mengalir melalui metal dari sisi anoda ke katoda yang mempunyai potensial reduksi lebih tinggi. Di sisi katoda terjadi reaksi reduksi O_2 di media basah. Elektron yang diterima di katoda berkombinasi dengan oksigen dan air terlarut membentuk ion hidroksida (OH^-). Jumlah elektron yang diterima pada sisi katoda harus sama dengan jumlah elektron yang disumbangkan dari sisi anoda

sehingga korosi dapat berjalan. Kehilangan material logam di sisi anoda akan terus terjadi hingga mencapai kondisi potensial yang sama.

Arus listrik didalam metal adalah hasil dari aliran elektron dari anoda ke katoda akibat adanya perbedaan potensial. Di sisi luar, arus listrik melalui elektrolit yang dibawa oleh pergerakan ion-ion bermuatan. Ion hidroksida bermuatan negatif bergerak dari katoda menuju anoda dan ion Fe yang bermuatan positif bergerak dari anoda ke katoda. Jika Fe^{2+} dan OH^- bertemu maka akan bereaksi dan menghasilkan $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Lebih lanjut senyawa ini akan bereaksi dengan tambahan ion hidroksida (OH^-) dan juga oksigen untuk membentuk produk yang insoluble yang kita lihat sebagai korosi. Mekanisme korosi pada *pipeline* dapat dilihat pada gambar 2.7 (Roberge, 2000)



Gambar 2.7 Korosi Lingkungan pada Besi (Roberge, 2000)

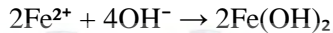
- a. Pada anoda reaksi oksidasi adalah :



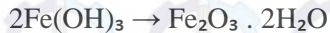
Elektron berpindah ke katoda dimana elektron tersebut berkombinasi dengan oksigen dan air membentuk ion hidroksil. Adapun reaksi reduksinya adalah :



Ion hidroksil dengan ion *ferrous* membentuk *ferrous hydroxide*



- b. Dengan adanya oksigen dan air, *ferrous hydroxide* teroksidasi membentuk Fe_2O_3 yang merupakan produk korosi



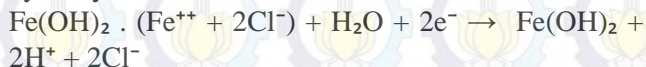
Depasivasi karena serangan ion klorida berlangsung dengan cara menyerang lapisan *passive pipeline*. Klorida berfungsi sebagai katalis terhadap korosi ketika terdapat konsentrasi yang cukup pada permukaan baja untuk merusak lapisan pasif. Klorida tidak di konsumsi pada proses tetapi membantu untuk merusak lapisan pasif oksida pada baja dan membuat proses korosi berjalan cepat.

Mekanisme korosi karena adanya ion klorida (tanpa oksigen pada anoda), adalah sebagai berikut :

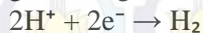
- a. Pada anoda, besi bereaksi dengan ion *chloride* membentuk *intermediate* larutan *iron-chloride* kompleks.



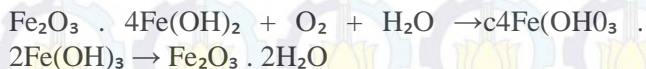
- b. *iron-chloride* kompleks akan bereaksi dengan ion hydroxyl dan air membentuk

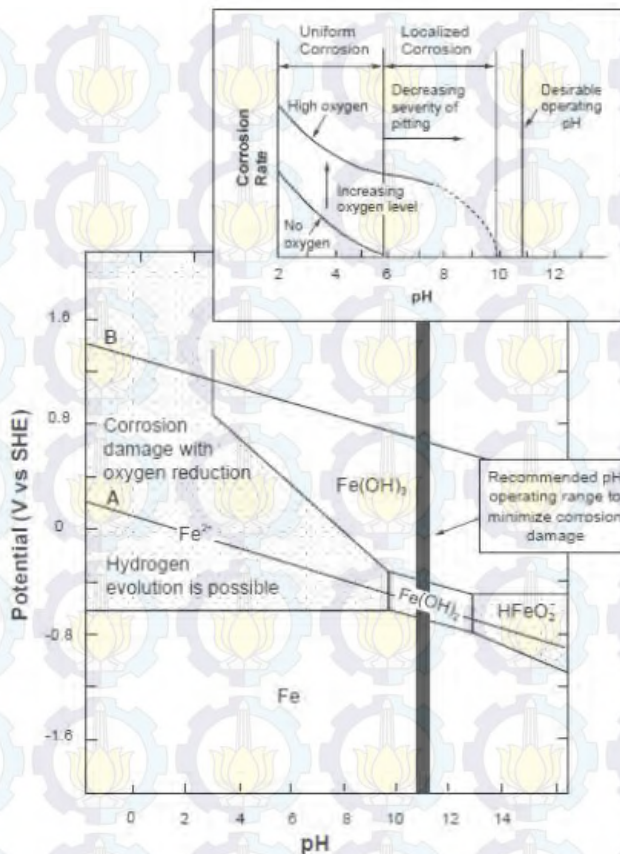


- c. Ion hidrogen kemudian dengan elektron membentuk gas hidrogen



- d. Kehadiran oksigen dan air, *ferrous hydroxide* kemudian teroksidasi membentuk





Gambar 2.8 Diagram E-pH besi di Lingkungan Air pada Temperatur 25°C (Roberge, 2000)

Dapat dilihat pada gambar 2.8 hubungan antara pH dengan energi potensial yang menunjukkan proses terjadinya korosi di beberapa fasa dan kondisi potensial dari material.



2.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Korosi terjadi dipengaruhi oleh sifat dari kedua logam atau paduan dan lingkungannya. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi antara lain:

1. Temperatur

Temperatur mempunyai pengaruh yang sangat bervariasi terhadap korosi. Pada temperatur kamar laju korosi relatif rendah namun dapat meningkatkan kondensasi lapisan film pada permukaan yang berakibat meningkatkan terjadinya korosi. Dan peningkatan temperatur dapat menurunkan laju korosi dengan terjadinya proses pengeringan pada permukaan. Namun adanya kombinasi antara nilai kelembaban dan temperatur tinggi serta diikuti oleh adanya polutan, maka akan meningkatkan laju korosi. Pada lingkungan berair (*aqueous*), temperatur mempengaruhi laju korosi, temperatur permukaan, heat flux, dan konsentrasi permukaan yang terkait serta gradien transfer kimia. (Roberge, 2000)

2. Faktor pH

Pada Diagram Pourbaix yang mempengaruhi proses korosi baja adalah potensial (volt) dan pH (tingkat keasaman). Semakin rendah pH ($\text{pH} < 4$) maka kemungkinan baja untuk terkorosi semakin besar karena baja terurai menjadi ion saat berada di lingkungan asam. Sedangkan pada daerah pH 4-10, laju korosi tidak tergantung dari pH, namun bergantung pada kecepatan difusi oksigen ke permukaan logam. Pada daerah asam ($\text{pH} < 4$), deposit besi oksida terlarut, pH akan menurun ketika baja kontak langsung dengan larutan. Sedangkan apabila pH di atas 10, laju korosi akan berkurang karena baja membentuk lapisan pasif di permukaannya (ASM Handbook Volume 13, 2003).

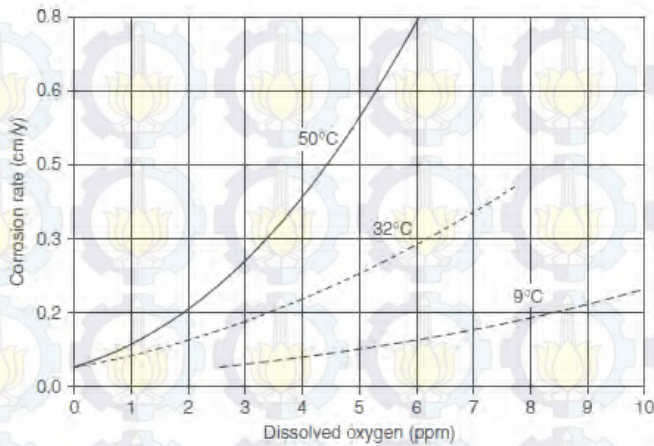


3. Gas terlarut

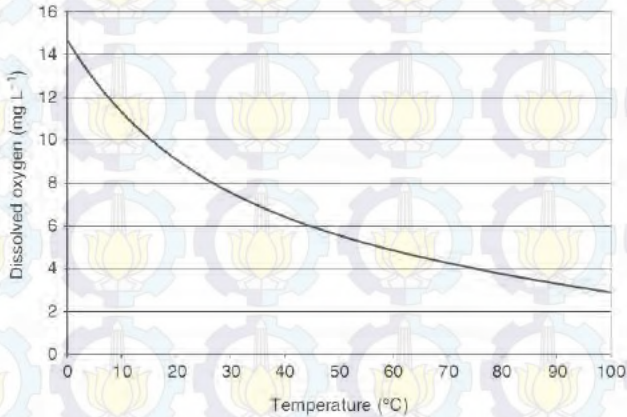
- a. Oksigen (O_2), Oksigen merupakan oksidator kuat sehingga akan meningkatkan potensial korosi logam di lingkungan air (fluida) yang mengandung oksigen terlarut. Laju korosi dapat meningkat dengan kenaikan kelarutan oksigen. Kelarutan oksigen sendiri dipengaruhi oleh suhu dari air atau pelarut. Semakin tinggi suhu air atau pelarut, maka makin rendah kelarutan oksigen. Hubungan antara kelarutan oksigen dengan temperatur dapat dilihat pada Gambar 2.10. Selain itu, pada air yang mengandung garam, kandungan oksigen terlarut juga dipengaruhi oleh kadar garam-garam yang terlarut (Jones, 1992). Pada air yang mengandung garam NaCl misalnya, kadar oksigen terlarut paling tinggi terdapat pada kadar NaCl 3,5%. Oleh karena itulah, air laut bersifat sangat korosif, dikarenakan kombinasi dari tingginya kadar oksigen terlarut dengan garam NaCl. Pengaruh kelarutan oksigen terhadap laju korosi digambarkan pada gambar 2.9. Serta kelarutan oksigen dalam air pada perbedaan temperatur dan salinitas dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kelarutan Oksigen dalam Air (Roberge, 2000)

Chlorinity* ($^{\circ}/_{\infty}$) Salinity [†] ($^{\circ}/_{\infty}$) Temperature($^{\circ}C$)	0	5	10	15	20
	0	9.06	18.08	27.11	36.11
	ppm				
0	14.58	13.70	12.78	11.89	11.00
5	12.79	12.02	11.24	10.49	9.74
10	11.32	10.66	10.01	9.37	8.72
15	10.16	9.67	9.02	8.46	7.92
20	9.19	8.70	8.21	7.77	7.23
25	8.39	7.93	7.48	7.04	6.57
30	7.67	7.25	6.80	6.41	5.37



Gambar 2.9 Pengaruh Kelarutan Oksigen Terhadap Laju Korosi dalam Air pada Perbedaan Temperatur (Roberge, 2000)



Gambar 2.10 Hubungan konsentrasi oksigen terlarut terhadap Temperatur (Jones, 1992)

- b. Karbondioksida (CO_2), terlarutnya karbondioksida dalam air akan terbentuk asam karbonat (H_2CO_3)



yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas.

2.2.3 Korosi Pada Media Air Laut

Korosi yang terjadi dilingkungan air laut didorong oleh faktor-faktor: kadar gas dalam air laut (*aerosols*), hujan (*rain*), embun (*dew*), kondensasi (*condensation*) dan tingkat kelembaban (*humidity*) serta resistivitas. Secara alami lingkungan air laut mengandung ion chloride (*chloride ions*) dengan kombinasi tingginya penguapan (*moisture*), unsur yang terkandung dalam air laut dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan presentasi oksigen terkandung yang juga turut memperburuk korosi karena air laut. Korosi air laut sangat bergantung pada:

- Kadar khlorida
- pH
- Kadar oksigen
- Temperatur

Tabel 2.4 Unsur Pokok dalam Media Air Laut

Anion	Part/Million	Equevalents per Million	Part per Million per unit Chlorinity
Chloride, Cl^-	18,980.00	535.30	998.90
Sulfate, SO_4^{2-}	2,649.00	55.10	139.40
Bicarbonete, HCO_3^-	139.70	2.30	7.35
Bromine, Br^-	64.60	0.80	3.40
Fluoride, F^-	1.30	0.10	0.07
Boric Acid, H_3BO_3	26.00	-	1.37
Total		593.60	



Cation	Part/Million	Equevalents per Million	Part per Million per unit Chlorinity
Sodium, Na ⁺	10,556.10	159.00	555.60
Magnesium, Mg ²⁺	1,272.00	104.60	66.95
Calcium, Ca ²⁺	400.10	20.00	21.06
Potassium, K ⁺	380.00	9.70	20.00
Strotium, Sr ²⁺	13.30	0.30	0.70
Total		593.60	

Korosi pada lingkungan air laut dipengaruhi oleh konsentrasi ion agresif, seperti ion klorida (Cl⁻) dan ion sulfat (SO₄²⁻). Ion klorida dapat merusak lapisan pasif yang menghalangi korosi. Mekanisme tersebut dapat menghasilkan *pitting corrosion* dimana lapisan pasif yang pecah akan memberikan jalan bagi H⁺ menuju logam yang sudah tidak terlindungi lagi.

Ion klorida dikenal sebagai ion yang memiliki efek merusak terhadap baja karbon. Kebanyakan ion tersebut memiliki kemampuan untuk terserap di permukaan logam dan berinterferensi membentuk lapisan pasif. *Pitting* merupakan jenis serangan utama yang terjadi akibat ion klorida. Ketika proses korosi dimulai, reaksi hidrolisis logam dari reaksi anodik menyebabkan penurunan pH, yang dapat menghambat perbaikan lapisan pasif dan mempercepat serangan. Baja karbon akan terkorosi di dalam air yang mengandung klorida terutama dalam bentuk korosi *uniform* dibandingkan dalam bentuk *localized attack*. (ASM Handbook, 2005)



2.2.4 Standar Material Pipeline

Beberapa standar material untuk pipa sudah ditentukan oleh badan-badan internasional seperti *American Society for Testing and Materials* (ASTM) dan *American Petroleum Institute* (API), untuk API hanya mengeluarkan standar yang bergerak di bidang perminyakan, API juga merupakan lembaga yang menyediakan produk dan melakukan pengembangan untuk produk tersebut untuk spesifikasi pada bidang perminyakan, untuk pipeline sendiri API mengeluarkan standar *Specification for Line Pipe: API 5L*.

Specification for Line Pipe: API 5L Spesifikasi untuk pipeline, spesifikasi ini dimaksudkan untuk menyediakan standar untuk pipa yang sesuai dalam penggunaan pada pengantar gas, air, dan minyak baik dalam industri minyak maupun gas alam. Spesifikasi ini meliputi pipa tanpa sambungan maupun baja pipa lasan.

Spesifikasi kebutuhan ditetapkan untuk dua produk tingkat spesifikasi atau *Product Specification Level* (PSL) yaitu PSL 1 dan PSL 2. Dua PSL ini dibuat berdasarkan perbedaan tingkat pada standar kebutuhan teknis. PSL 2 harus memiliki kesesuaian atau kebutuhan untuk karbon yang setara, ketangguhan, kekuatan yield maksimum, dan kekuatan tarik maksimum. Grade yang ada berdasarkan standar yang ada adalah grade A25, A, B, X42, X46, X52, X56, X60, X65, X70 dan X80. Untuk pipa PSL 1 ada pada grade A25 sampai X70, dan pipa PSL 2 ada pada grade B sampai X80. Dapat dilihat pada tabel 2.5 sampai 2.8 komposisi kimia dan nilai kekuatan tarik API 5L (Institute, 2004)



Tabel 2.5 Komposisi Kimia PSL 1 API 5L (Institute, 2004)

(1)	(2)	(3)	(4)		(5)	(6)	(7)
Grade & Class	Carbon, Maximum ^a	Manganese, Maximum ^a	Phosphorus		Sulfur, Maximum	Titanium, Maximum	Other
			Minimum	Maximum			
Seamless							
A25, C1 I	0.21	0.60		0.030	0.030		
A25, C1 II	0.21	0.60	0.045	0.080	0.030		
A	0.22	0.90		0.030	0.030		
B	0.28	1.20		0.030	0.030	0.04	h, c, d
X42	0.28	1.30		0.030	0.030	0.04	c, d
X46, X52, X56	0.28	1.40		0.030	0.030	0.04	c, d
X60 ^f	0.28	1.40		0.030	0.030	0.04	c, d
X65 ^f , X70 ^f	0.28	1.40		0.030	0.030	0.06	c, d
Welded							
A25, C1 I	0.21	0.60		0.030	0.030		
A25, C1 II	0.21	0.60	0.045	0.080	0.030		
A	0.22	0.90		0.030	0.030		
B	0.26	1.20		0.030	0.030	0.04	b, c, d
X42	0.26	1.30		0.030	0.030	0.04	c, d
X46, X52, X56	0.26	1.40		0.030	0.030	0.04	c, d
X60 ^f	0.26	1.40		0.030	0.030	0.04	c, d
X65 ^f	0.26	1.45		0.030	0.030	0.06	c, d
X70 ^f	0.26	1.65		0.030	0.030	0.06	c, d

Tabel 2.6 Komposisi Kimia PSL 2 API 5L (Institute, 2004)

(1) Grade	(2) Carbon, Maximum ^a	(3) Manganese, Maximum ^a	(4) Phosphorus, Maximum	(5) Sulfur, Maximum	(6) Titanium, Maximum	(7) Other
Seamless						
B	0.24	1.20	0.025	0.015	0.04	c, d, e
X42	0.24	1.30	0.025	0.015	0.04	c, d
X46, X52, X56, X60 ^f	0.24	1.40	0.025	0.015	0.04	c, d
X65 ^f , X70 ^f , X80 ^f	0.24	1.40	0.025	0.015	0.06	c, d
Welded						
B	0.22	1.20	0.025	0.015	0.04	c, d, e
X42	0.22	1.30	0.025	0.015	0.04	c, d
X46, X52, X56	0.22	1.40	0.025	0.015	0.04	c, d
X60 ^f	0.22	1.40	0.025	0.015	0.04	c, d
X65 ^f	0.22	1.45	0.025	0.015	0.06	c, d
X70 ^f	0.22	1.65	0.025	0.015	0.06	c, d
X80 ^f	0.22	1.85	0.025	0.015	0.06	c, d



Tabel 2.7 Kekuatan Tarik PSL 1 API 5L (Institute, 2004)

(1) Grade	(2) Yield Strength, Minimum		(3) Ultimate Tensile Strength, Minimum		(4) Elongation in 2 in. (50.8 mm), Minimum, Percent
	psi	MPa	psi	MPa	
A25	25,000	(172)	45,000	(310)	a
A	30,000	(207)	48,000	(331)	a
B	35,000	(241)	60,000	(414)	a
X42	42,000	(290)	60,000	(414)	a
X46	46,000	(317)	63,000	(434)	a
X52	52,000	(359)	66,000	(455)	a
X56	56,000	(386)	71,000	(490)	a
X60	60,000	(414)	75,000	(517)	a
X65	65,000	(448)	77,000	(531)	a
X70	70,000	(483)	82,000	(565)	a

Tabel 2.8 Kekuatan Tarik PSL 2 API 5L (Institute, 2004)

(1) Grade	(2) Yield Strength, Minimum		(3) Yield Strength, Maximum ^a		(4) Ultimate Tensile Strength, Minimum		(5) Ultimate Tensile Strength, Maximum ^a		(6) Elongation in 2 in. (50.8 mm), Minimum, Percent
	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	
B	35,000	(241)	65,000 ^a	(448)	60,000	(414)	110,000	(758)	a
X42	42,000	(290)	72,000	(496)	60,000	(414)	110,000	(758)	a
X46	46,000	(317)	76,000	(524)	63,000	(434)	110,000	(758)	a
X52	52,000	(359)	77,000	(531)	66,000	(455)	110,000	(758)	a
X56	56,000	(386)	79,000	(544)	71,000	(490)	110,000	(758)	a
X60	60,000	(414)	82,000	(565)	75,000	(517)	110,000	(758)	a
X65	65,000	(448)	87,000	(600)	77,000	(531)	110,000	(758)	a
X70	70,000	(483)	90,000	(621)	82,000	(565)	110,000	(758)	a
X80	80,000	(552)	100,000 ^a	(690)	90,000	(621)	120,000	(827)	a

2.3 Metode Pengendalian Korosi

2.3.1 Desain yang Baik

Pengendalian korosi dapat dilakukan sejak dari perancangan. Desain yang baik dari sisi korosi dapat meningkatkan ketahanan korosi struktur, misalnya mencegah uap atau air, garam-garam kimia dan kotoran yang terperangkap. Struktur yang dirancang sedemikian rupa sehingga tidak mengalami kesulitan dalam aplikasi coating. (ASCOATINDO, 2014)



2.3.2 Pemilihan Material (*Material Selection*)

Memilih material yang sesuai dengan lingkungan dimana material tersebut berada merupakan salah satu metode pengendalian korosi. Menggunakan logam tahan korosi seperti Baja Tahan Karat (*Corrosion Resistant Material*) dapat membantu dalam menurunkan laju korosi. *Galvanic series* dapat digunakan untuk membantu melihat material yang mudah terkorosi atau yang lebih tahan terhadap korosi. Disisi lain kita juga dapat menggunakan material komposisi atau nonmetal, komposit material merupakan kombinasi antara serat dan resin, material ini merupakan material alternatif yang dapat digunakan terutama pada daerah-daerah yang sangat korosif. (ASCOATINDO, 2014)

2.3.3 Proteksi Katodik (*Cathodic Protection*)

Proteksi katodik adalah salah satu cara yang dilakukan untuk mengendalikan korosi dari permukaan logam dengan membuat logam tersebut menjadi katoda pada sel elektrokimia. Kondisinya bagian anoda dan katoda ada pada permukaan pipa. Pada bagian anoda arus mengalir dari pipa baja ke lingkungan elektrolit (tanah atau air) dan pipeline akan berkarat. Pada area katoda arus yang mengalir dari elektrolit ke permukaan pipa dan korosi berkurang atau tidak terjadi (Peabody, 2001)

Proteksi katodik dapat digunakan untuk konstruksi yang terendam dalam air atau tertanam dalam tanah, seperti pipa, bagian kapal yang terendam, dan tangki bagian dalam yang selalu terisi air. Pada proteksi katodik, struktur yang akan diproteksi dikondisikan menjadi katoda sehingga konstruksi tidak terkorosi. (ASCOATINDO, 2014)

Metode-metode yang dilakukan untuk mengendalikan korosi dengan proteksi katodik adalah: (Roberge, 2000)

1. Anoda Korban (*Sacrifice Anode*)

Prinsip yang digunakan dalam metode ini adalah sistem galvanik dimana logam yang akan dilindungi dihubungkan secara elektrik dengan logam yang



bersifat lebih anodik (potensial standarnya lebih kecil) dan sesuai dengan deret galvanik. Dengan demikian logam yang akan dilindungi bersifat sebagai katoda dan logam lainnya akan menjadi anoda. Akibatnya, anoda korban akan terus-menerus terkorosi sehingga harus diganti secara berkala.

2. Arus Paksa (*Impressed Current*)

Metode arus paksa diaplikasikan dengan memberikan arus listrik searah dari sumber luar untuk melindungi struktur logam. Proses ini menggunakan penyearah yang disebut *rectifier*, dimana kutub negatif dihubungkan ke logam yang akan dilindungi, dan kutub positif dihubungkan ke anoda. Pada prinsipnya, metode ini dilakukan dengan memberikan suplai elektron kepada struktur yang akan diproteksi secara katodik agar tidak terjadi kebocoran elektron. Anoda yang digunakan biasanya adalah anoda *inert* yang stabil agar tidak mudah terkontaminasi oleh lingkungan.

2.3.4 Inhibitor

Inhibitor adalah larutan kimia yang apabila ditambahkan kedalam suatu fluida akan menurunkan korosifitas fluida sehingga laju korosi akan turun. Inhibitor ini akan membentuk lapisan inhibisi pada permukaan logam atau menangkap unsur-unsur yang menimbulkan korosi seperti oksigen. (ASCOATINDO, 2014)

Inhibitor memiliki mekanisme kerja secara umum yaitu sebagai berikut : (Roberge, 2000)

- Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor.
- Inhibitor mengendap pada lingkungan dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi



- Inhibitor lebih dahulu mengkorosi logam-logamnya dan menghasilkan suatu zat kimia dan mengalami adsorpsi dari produk korosi untuk membentuk lapisan pasif pada permukaan
- Inhibitor menghilangkan konstituen yang agresif dari lingkungan

2.3.5 Mengkondisikan Lingkungan

Lingkungan bisa saja dikondisikan untuk mengurangi agresifitasnya terhadap korosi. Salah satu contoh adalah penggunaan peralatan *dehumidification*, alat ini digunakan untuk mengeringkan udara yang masuk kedalam tangki yang sedang diblasting. Dengan menggunakan alat ini kelembapan udara dapat diturunkan sampai lebih rendah dari 50%. Pada kondisi ini laju korosi akan rendah sekali. (ASCOATINDO, 2014)

2.3.6 Lapisan Pelindung (*Coating*)

Pelapisan (*Coating*) merupakan salah satu metode untuk membuat material menjadi tahan terhadap korosi. Pelapisan sendiri dilakukan dengan tujuan dari salah satu atau lebih alasan, seperti sebagai dekoratif, sebagai pelindung, dan beberapa tujuan tertentu. (Wicks, 2007)

Usaha pertama untuk mengontrol korosi pada pipeline adalah dengan menggunakan material pelapis (*Coating materials*) dan alasannya adalah jika logam *pipeline* dapat diisolasi dari kontak dengan lingkungan alam, maka korosi tidak dapat terjadi. Konsep ini seluruhnya jelas dan logis. Lagipula, *coating* dapat menjadi perlindungan yang efektif terhadap korosi karena merupakan insulator elektrik yang efektif, dapat diaplikasikan tanpa rusak dan akan mudah dalam proses perbaikan, dan mendasari awal film yang baik yang akan melindungi sepanjang waktu tertentu. (Peabody, 2001)

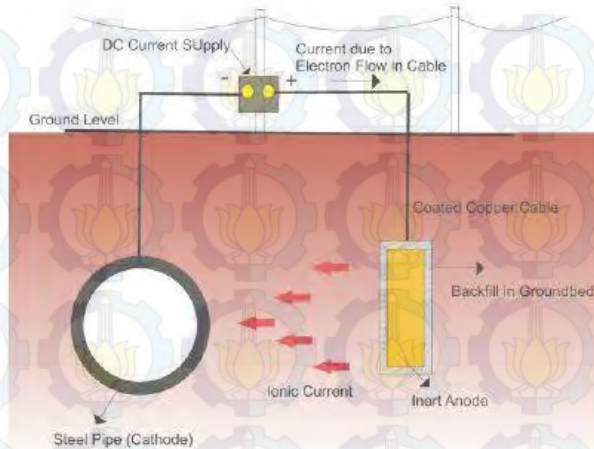
Coating merupakan proses pelapisan permukaan logam dengan cairan atau serbuk, yang akan melekat secara kontinu pada logam yang akan dilindungi, tentunya setelah melalui proses solidifikasi. Proses pelapisan ini akan mengurangi intensitas



logam untuk mengalami kontak dengan lingkungannya. Pelapisan yang paling umum digunakan adalah pelapisan dengan menggunakan cat. *Coating* dapat dibedakan berdasarkan bahan pelindungnya seperti polimer (organik dan inorganik), keramik, dan metal, dengan cara aplikasinya dapat menggunakan *electroplating*, *cladding*, *hotdip coating*, *liquid coating* atau *protective coating*. (Roberge, 2000)

2.4 Impressed Current Cathodic Protection

Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) adalah proteksi katodik yang menggunakan sumber arus dari luar, biasanya berasal dari arus AC yang dilengkapi dengan peyearah arus (*rectifier*), sehingga menjadi arus DC. Sumber arus DC ini yang akan memberikan supply elektron menuju sistem selama bekerja. Pertimbangan penggunaan ICCP lebih banyak digunakan adalah kapasitas output yang jauh lebih besar dibandingkan *sacrificial anode*. Sehingga bisa digunakan untuk proteksi skala besar dan struktur tanpa lapis lindung. ICCP digunakan untuk proteksi yang membutuhkan arus proteksi yang tinggi dan memiliki ketahanan elektrolit yang tinggi. Mekanisme proteksinya, arus mengalir dari *rectifier* menuju anoda, lalu dari anoda melalui elektrolit menuju ke permukaan struktur, kemudian mengalir sepanjang struktur dan kembali ke *rectifier* melalui konduktor elektrik. Karena struktur menerima arus dari elektrolit, maka struktur menjadi terproteksi, seperti ditunjukkan pada gambar 2.11. (Roberge, 2000)



Gambar 2.11 Rangkaian Sistem ICCP (Roberge, 2000)

2.4.1 Potensial Elektroda Setengah Sel

Potensial yang terukur dari suatu logam yang terkorosi adalah potensial gabungan dari anoda dan katoda yang terpolarisasi dan disebut potensial korosi. Potensial korosi diukur berdasarkan perbedaan tegangan antara elektroda kerja dengan referensi yang dicelupkan dalam larutan korosif, contoh elektroda referensi, elektroda kalomel jenuh, Cu/CuSO_4 dan Ag/AgCl . *Open circuit potential* yaitu pengukuran beda potensial suatu logam di dalam suatu larutan elektrolit tanpa pemberian arus listrik ke logam tersebut. Potensial korosi sendiri merupakan potensial dari reaksi reduksi dan oksidasi pada *pipeline*. Potensial tersebut dapat diukur dengan membandingkan perbedaan potensial antara *pipeline* dengan elektroda referensi. Tabel 2.9 menunjukkan kondisi pada permukaan baja pada beberapa potensial V vs Cu/CuSO_4 (Peabody, 2001)



Tabel 2.9 Kondisi Permukaan Logam Baja pada Berbagai Nilai Potensial (Peabody, 2001)

Potential (V vs. Cu/CuSO ₄)	Condition of steel
-0.5 to -0.6	Intense corrosion
-0.6 to -0.7	Corrosion
-0.7 to -0.8	Some protection
-0.8 to -0.9	Cathodic protection
-0.9 to -1.0	Some overprotection
-1.0 to -1.1	Increased overprotection
-1.1 to -1.4	Increasingly severe overprotection, coating disbondment and blistering, increasing risk of hydrogen embrittlement

Pada sistem proteksi katodik, pipa akan terproteksi pada rentang -800 mV hingga -900 mV dengan menggunakan elektroda *reference* Cu/CuSO₄. Potensial yang lebih negatif dari -900 mV akan mulai mengalami *overprotection* dan bahkan bila lebih dari 1000 mV maka akan semakin meningkatkan *overprotection* dimana akan terjadi pelepasan hidrogen pada potensial yang lebih negatif. Akibatnya terjadi perapuhan hidrogen (*hydrogen embrittlement*) dan akan mengancam integritas lapisan cat (*coating*) serta peralatan elektrik lainnya, seperti kabel koneksi (Peabody, 2001)

2.4.2 Elektroda Acuan

Elektroda acuan yang biasa digunakan pada lingkungan air laut adalah elektroda Ag/AgCl dan Zn. Untuk skala laboratorium lebih banyak menggunakan elektroda kalomel baku, kalomel adalah sebutan untuk merkuri (I) klorida, Hg/Hg₂Cl₂, atau biasa dikenal dengan sebutan SCE (*Saturated Calomel Electrode*). Untuk memudahkan penggunaannya di laboratorium, larutan klorida yang digunakan adalah kalomel.

Jika voltmeter dihubungkan dengan elektroda acuan dan baja, maka potensial yang terbaca sesungguhnya merupakan gabungan dari dua jenis potensial. Masing-masing potensial itu disebut potensial *Half Cell*. (Gurrappa, 2005)



Dapat dilihat pada tabel 2.10 beberapa jenis elektroda standar dengan tingkat potensialnya.

Tabel 2.10 Elektoda Pemanding

Jenis elektroda Standar	Potensial terhadap potensial standar hidrogen, V
Cu/CuSO ₄ (CSE, Copper/Copper sulfate Elect). (Jenuh)	0,33 (untuk lingkungan tanah)
Ag/AgCl (Silver/Silver Chloride)	0,25 (untuk lingkungan laut)
Hg/Hg ₂ Cl ₂ (Calomel, SCE), jenuh	0,24 (untuk lingkungan klorida, lab)
Hidrogen (SHE)	0,00 (hanya untuk arbitrase)
Zn	-0,76 (untuk lingkungan laut bila untuk tanah dengan Backfill)

2.4.3 Anoda

Pada metode ICCP, anoda yang digunakan memiliki potensial elektroda yang lebih positif (*less active metal*). Arus elektron seharusnya mengalir dari struktur pipa ke anoda inert yang digunakan. Namun arus searah (DC) dari *transformer rectifier* memaksa arus elektron tetap menuju ke struktur pipa. Karena arus terpasang memiliki tegangan dorong yang besar, maka metode ini dapat digunakan untuk luasan proteksi yang besar dengan anoda tunggal meski ditempatkan jauh dari struktur. Tabel 2.11 menunjukkan beberapa jenis anoda yang umum digunakan pada sistem ICCP. (Kenneth, 1991)



Tabel 2.11 Beberapa Anoda yang Digunakan Pada Sistem ICCP
(Kenneth, 1991)

Bahan	Konsumsi ($\text{kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$)	Penggunaan
Platinum dan logam lapis platinum	$8 \cdot 10^6$	Lingkungan Laut
Besi Silicon Tinggi	0,25 – 1,0	Sistem air minum, pipa bawah tanah
Baja	6,8 – 9,1	Lingkungan Laut
Besi	9,5	Lingkungan Laut
Besi Cor	4,5-6,8	Lingkungan Laut
Timbal Platinum	0,09	Lingkungan Laut
Timbal Perak	0,09	Lingkungan Laut
Grafit	0,1-1,0	Lingkungan Laut, sistem air minum

Anoda grafit banyak digunakan pada lingkungan yang mengandung larutan klorida, khususnya yang memproduksi klorin dan klorat seperti air laut. Grafit merupakan bentuk padat kristal karbon. Pada kondisi air laut, laju konsumsi grafit lebih rendah karena adanya evolusi dari zat klorin dalam air laut. Grafit dapat bekerja lebih baik dibandingkan dengan air murni dengan kandungan oksigen. Laju konsumsi pada penggunaan Grafit dapat dilihat pada tabel 2.12 (Shrein, 1993)

Tabel 2.12 Laju konsumsi Anoda Grafit (Shrein, 1993)

Environment	Wastage rate ($\text{kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$)	Current density ($\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$)	Reference
Backfill	0.9	10.8	80
Hot Water	0.9	—	108
Seawater	0.045	4.5–115	111
Seawater	Little	10.8	108
Fresh water	0.45	3.5	108
Fresh water	0.45	2.7	111
Mud	0.91–1.36	71	173



2.5 Organic Coating

Coating adalah lapisan film yang bening atau berpigment yang berfungsi melindungi permukaan dari pengaruh lingkungan. *Coating* diklasifikasikan sebagai organik atau inorganik. Kebanyakan *coating* organik terbuat dari benda hidup. (ASCOATINDO, 2014)

Pelapisan organik adalah pelapisan yang komposisi lapisannya berasal dari alam, biasanya digunakan sayur-sayuran dan minyak hewani sebagai komposisi dari pelapisan organik. Namun sekarang ini komposisinya banyak menggunakan produk perminyakan yang telah dimurnikan dan dimodifikasi untuk memberikan sifat lapisan yang diinginkan. Semua lapisan organik banyak mengandung karbon dan memiliki ketahanan terhadap panas yang lebih rendah dibandingkan pelapisan inorganik dikarenakan lemahnya ikatan antar karbon pada pelapisan organik.

2.5.1 Mekanisme Proteksi

Terdapat beberapa mekanisme proteksi terhadap korosi yang dilakukan oleh lapisan atau *coating* yaitu :

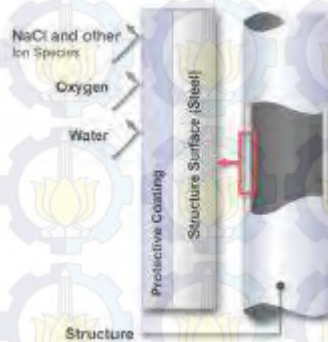
- Proteksi Barrier, mengisolasi logam dari lingkungan
- Efek Inhibitor, mengendalikan reaksi anodik
- Proteksi Katodik, merubah area anoda menjadi katoda

1. Lapisan Penghalang (*Barrier Coating*)

Lapisan berfungsi sebagai penghalang antara permukaan material dengan lingkungan. Lapisan penghalang berfungsi untuk mencegah pembentukan elektrolit pada *interface* lapisan atau permukaan dan menghalangi molekul oksigen untuk berdepolarisasi. Penetrasi air dan oksigen ke dalam permukaan akan menjadi tidak signifikan ketika tidak adanya ion pada permukaan.

Pada lapisan ini juga digunakan pigmen yang berbentuk

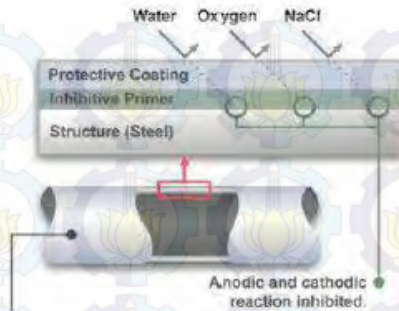
seperti jarum atau pelat maupun larutan kimia yang inert dimana nantinya dapat membentuk lapisan proteksi. Lapisan ini tidak hanya dapat digunakan pada lapisan primer, tetapi juga pada lapisan menengah maupun lapisan atas. Hal ini dikarenakan pigmen tidak bereaksi dengan logam untuk membentuk lapisan. Gambar 2.12 menunjukkan konsep lapisan penghalang pada jenis mekanisme proteksi dari coating. (NACE, 2012)



Gambar 2.12 Konsep Lapisan Penghalang (NACE, 2012)

2. Lapisan Inhibisi (*Inhibitive Coating*)

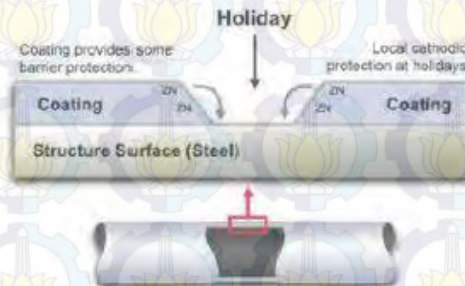
Lapisan inhibisi berfungsi untuk memperlambat reaksi yang terjadi pada anoda, katoda, ataupun pada keduanya. Supaya lebih efektif, lapisan inhibisi harus menempel langsung pada permukaan material. Untuk terbentuknya lapisan inhibisi juga diperlukan sedikit kelembapan dan pigmen. Pigmen ini nantinya akan mempasifasi permukaan material dengan membentuk lapisan tipis yang melekat dengan kuat pada permukaan. Gambar 2.13 menunjukkan konsep lapisan inhibisi pada jenis mekanisme proteksi dari coating. (NACE, 2012)



Gambar 2.13 Konsep Lapisan Inhibisi (NACE, 2012)

3. Proteksi Katodik (*Sacrificial*)

Metode ini menggunakan material yang lebih anodik dibanding material yang ingin dilindungi. Proteksi katodik ini biasanya mengandung zink agar lebih efektif. Ketika material terkespos di lingkungan korosif, lapisan ini akan melindungi material dengan menjadi anoda korban. Metode ini hanya efektif untuk digunakan pada lapisan primer dikarenakan zink harus bereaksi dengan logam agar terbentuk lapisan proteksi. Gambar 2.14 menunjukkan konsep proteksi katodik pada jenis mekanisme proteksi dari coating. (NACE, 2012)



Gambar 2.14 Konsep Proteksi Katodik (NACE, 2012)



2.5.2 Sistem Pelapisan

Tabel 2.13 Persyaratan Sistem Pelapisan (ASCOATINDO, 2014)

COAT	MAIN FUNCTION	SPECIFIC REQUIREMENT	GENERAL REQUIREMENT
Primer	Adhesion	Adhesion to substrate Bond to Intermediate	Adhesion Cohesion Resistivity Flexibility Intercoat Bond
Intermediate	Thickness and Structure	Adhesion to primer Bond to Topcoat	Cohesion Intercoat Bond Thickness Strength Resistivity
Topcoat	Resistance to Atmosphere	Bond to Intermediate	Seal Surface Strength Resistivity Flexibility Appearance Toughness

1. Lapisan Primer

Lapisan primer merupakan dasar atau alas dimana sistem *coating* lainnya ditempatkan. Primer merupakan kunci daya adhesi dari seluruh sistem *coating*. Primer harus menempel kuat pada logam dan menempel kuat pada sistem *coating* di atasnya.

2. Lapisan Menengah (*Intermediate*)

Intermediate berfungsi sebagai *barrier protection* tambahan. Disebut juga sebagai *bodycoat* untuk menambahkan tebal dan ketahanan. Formulasi tebal dan ketahanan. Formulasi *intermediate* sangat penting, utamanya untuk meningkatkan ketebalan yang dapat meningkatkan sifat-sifat utama dari *coating*. *Bodycoat* ini harus menempel kuat pada primer dan juga pada *topcoat*.

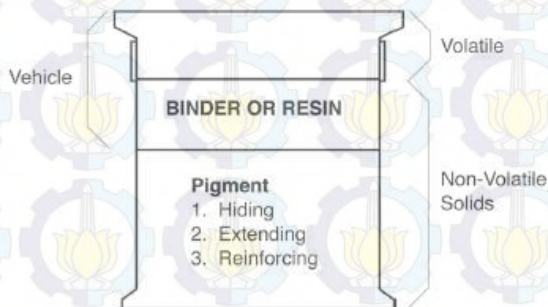
3. Lapisan Atas (*Topcoat*)



Topcoat merupakan suatu lapisan resin penyekat diatas *intermediate* dan primer. Ini merupakan pertahanan pertama terhadap chemical yang agresif, air, atau lingkungan, yang berfungsi sebagai *barrier* pertama dalam *coating* sistem. *Topcoat* lebih padat dibanding *intermediate coat* karena jumlah pigmennya lebih kecil dibanding *vehicle ratio*. (ASCOATINDO, 2014)

2.5.3 Komposisi Pelapisan Organik

Organik *coating* berbahan dasar *liquid* atau cair yang terdiri dari tiga komponen penyusun dasar yaitu binder, pelarut (*solvent*), dan pigment. Terkadang tidak semua *organic coating* terdiri dari tiga komponen diatas, namun pasti memiliki komponen binder seperti ditunjukkan pada gambar 2.15. (Drisko, 1998)



Gambar 2.15 Komposisi Penyusun *Coating* (Drisko, 1998)

Dalam beberapa ketentuan aplikasi *liquid* dapat dibedakan menjadi dua komponen yaitu *vehicle* dan *solid phase*. *Vehicle* atau komponen cair terdiri dari binder dan pelarut (*solvent*). Binder biasa disebut dengan *non-volatile* dan pelarut (*solvent*) disebut dengan *volatile*. Selanjutnya *solid phase* atau fasa padat yang terdiri dari pigmen dan zat aditif. Karena pigmen berat maka daripada komponen lainnya saat ada dalam kemasan pigmen akan



berada pada dasar kemasan. (Drisko, 1998)

Cat umumnya tersusun dari bahan-bahan berikut ini :
(Kruit, 2001)

- *Binder/Pengikat/Resin* polimer
- *Pigmen/Extender*
- *Solvent/Pelarut*
- Aditif

1. Pengikat (*Binder*)

Binder adalah komposisi utama dalam membuat lapisan organik. *Binder* merupakan suatu bahan yang membentuk lapisan berkelanjutan yang nantinya menempel pada material baja dimana *binder* akan mengikat komponen-komponen lainnya sehingga membentuk suatu lapisan luar yang keras. (Wicks, 2007)

Untuk membuat lapisan proteksi pada permukaan, resin *binder* harus berubah dari keadaan liquid menjadi solid yang nantinya akan menempel pada permukaan dan melindungi permukaan tersebut. Fungsi utama dari *binder* adalah menyediakan struktur fisik untuk mendukung pigmen dan aditif. Contoh dari *binder* adalah epoksi, polyurethane, alkid, polyester, dan beberapa *binder* lainnya. (Forsgren, 2006)

2. Pigmen

Pigmen merupakan kompoen coating yang terberat dan padat.pigmen dari alam misalnya kaolin clay, magnesium silicate, calsium carbonate, cenderung lebih tahan terhadap sinar ultraviolet dibanding jenis pigmen baru seperti synthetic organik pigmen. (ASCOATINDO, 2014)

Pigmen dapat dibedakan dalam beberapa jenis, yaitu pigmen pewarna, extender atau biasa disebut pigmen pengisi, pigmen inhibisi dan juga pigmen metalik. Pigmen pewarna tentunya berfungsi



memberikan warna tertentu pada lapisan cat sehingga menambah nilai estetikanya. Pigmen pewarna yang digunakan pada cat harus memiliki sifat : (SSPC, 2000)

- High hiding power
- Colour fastness
- Non bleeding (tidak larut dengan pelarut)
- Ketahanan kimia yang baik
- Dapat menyerap sinar ultraviolet

3. Pelarut (*Solvent*)

Organic solvent digunakan untuk melarutkan material binder dan mengurangi kekentalan coating untuk memudahkan aplikasi. Solvent juga mengendalikan pengeringan film, adhesi dan umur film. Binder yang sulit larut membutuhkan solvent yang lebih kuat atau memerlukan jumlah solvent yang lebih banyak untuk melarutkannya. Campuran solvent umumnya digunakan untuk mengendalikan penguapan dan pembentukan film dan sering digunakan oleh manufaktur untuk mendapatkan kombinasi dari sifat tersebut. (ASCOATINDO, 2014)

Bahan pengikat atau resin tertentu ada yang sudah memiliki viskositas rendah sehingga tidak perlu menggunakan pelarut. Namun kebanyakan dari bahan pengikat adalah suatu material padat ataupun material yang memiliki viskositas tinggi dan harus dilarutkan dalam pelarut organik. Beberapa jenis bahan pengikat seperti epoksi yang berbasis air ada juga yang dapat larut dalam air. Kebanyakan orang yang melakukan pengecatan tidak peduli terhadap pengaruh penambahan pelarut ketika pengaplikasian cat. Terlalu banyak pelarut atau penambahan thinner akan mengakibatkan terjadinya sagging dan pembentukan pinhole ketika terjadi penguapan pelarut pada lapisan cat. (SSPC, 2000)



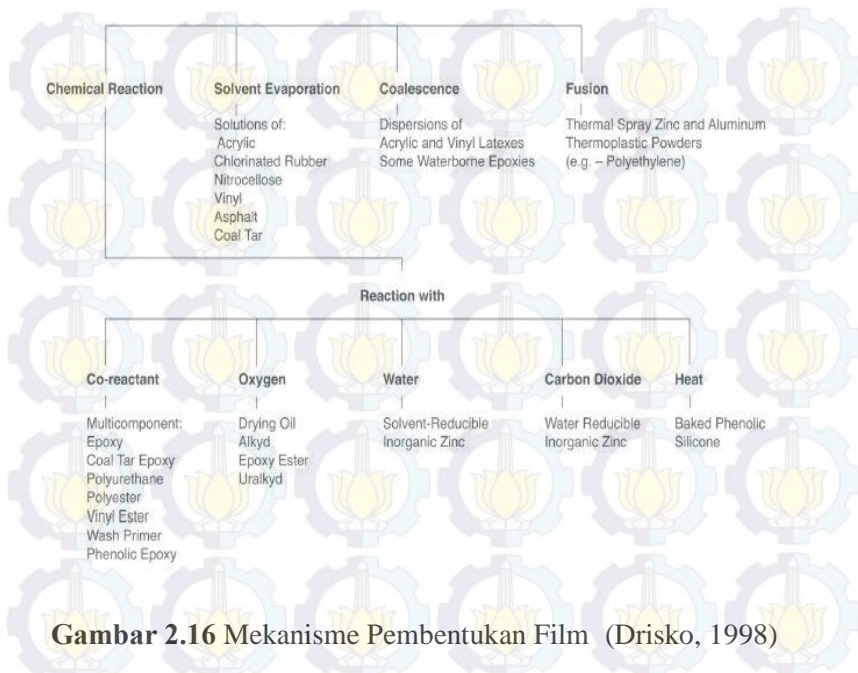
4. Aditif

Aditif adalah komponen liquid dari lapisan yang biasanya ditambahkan dalam jumlah kecil untuk menambahkan sifat tertentu pada lapisan. Sifat-sifat yang diperbaiki dengan menambahkan aditif antara lain : (ASCOATINDO, 2014)

- Meningkatkan pembentukan film
- Meningkatkan fleksibilitas
- Menahan pertumbuhan jamur
- Pengering
- Membunuh jasad renik
- Menambahkan sifat plastis
- Tahan abrasi

2.5.4 Mekanisme Pembentukan Film

Mekanisme pembentukan *coating* dari air atau liquid menjadi solid dapat dibedakan menjadi *Non Convertible* dan *Convertible*. *Non Convertible* lapisan mengandung resin yang tidak berubah secara kimia selama pembentukan film. Lapisan *convertible* mengandung resin atau kompoen pembentuk resin yang mengalami perubahan kimia selama pembentukan film. Jenis mekanisme pembentukan film pada cat dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Mekanisme Pembentukan Film (Drisko, 1998)

Ada jenis-jenis reaksi polimerisasi yang terjadi, yaitu akibat bereaksi dengan oksigen, *chemical co-reaction*, panas, air, dan karbon dioksida. Pada polimerisasi terbentuk rantai molekul panjang atau linier (*one dimensional linking*) atau molekul tiga dimensi yang kompleks (*cross-linking*) (ASCOATINDO, 2014)

1. Polimerisasi akibat oksigen

Jenis *coating* ini membentuk suatu lapisan film melalui proses *oxidative cross-linking* dengan oksigen yang ada di atmosfer. Disini terjadi proses penguapan karena ada penambahan *solvent* untuk memudahkan aplikasi. Unsur utama dalam jenis polimerisasi ini misalnya pada alkyd *coatings*, yaitu *vegetable oils*, seperti *linseed*, *tung*, *soy bean*, dan *dehydrated castor oil*, dan *fish oils*, seperti menhaden



2. Polimerisasi akibat kimia

Coating jenis ini terbentuk bila resin bereaksi dengan *curing agent, activator, converter*, atau *catalyst*. contoh jenis *coating* ini adalah Epoxies, polyurethanes, dan vinyl wash primers

3. Polimerisasi akibat air

Coating yang dihasilkan melalui hidrolisis, yaitu jika resin yang reaktif tersebut digabungkan dengan uap air di atmosfer membentuk hard metallic atau metal-like film. Contohnya adalah urethanes dan beberapa inorganic zinc coatings

4. Polimerisasi akibat panas

Jenis *coating* ini dihasilkan jika didalam resin terjadi *cross-linking* karena adanya temperatur berkisar 95°C-245°C. Proses *cross-linking* ini, disebut sebagai reaksi kondensasi, yang dicirikan adanya pelepasan air selama proses polimerisasi. Contohnya adalah phenolics, epoxy-modified phenolics, dan silicones.

2.5.5 Sifat dari Lapisan

Coating memiliki beberapa sifat yang mempengaruhi kinerjanya dalam memproteksi substrat, yaitu : (ASCOATINDO, 2014)

1. Kekuatan Adhesi

Ikatan antara material *coating* dan permukaan logam yang dilapisi (*adhesion*) merupakan kunci keberhasilan *coating* menjalankan fungsinya sebagai protektif *coating*. Terlepas dari sifat-sifat yang lain, *coating* yang memiliki adhesi kuat dengan permukaan akan menahan integritasnya lebih lama dibandingkan dengan adhesi yang lebih rendah walaupun memiliki sifat lain yang lebih. Adhesi dihasilkan oleh ikatan antara *coating* material dengan permukaan logam. Ikatan tersebut bisa merupakan ikatan fisik atau mekanik, ikatan kimia atau ikatan polar. Jenis ikatan ini tergantung dari jenis *coating* yang digunakan dan kondisi permukaan logam yang akan



dicoating.

2. Permeabilitas

Tahan terhadap air, merupakan sifat yang paling penting dari material *coating*, karena *coating* selalu kontak dengan uap air dalam satu bentuk atau dalam bentuk yang lain. *organic coating* sangat bervariasi dalam sifat permeabilitas terhadap *moisture* dan kemampuannya dalam membentuk penghalang, sehingga tidak ada satu jenis *coating* yang dapat berfungsi secara efektif dalam semua kondisi air karena begitu banyak bentuk air dan satu dengan lainnya berbeda.

3. Kekuatan Dielektrik

Dalam kasus penggunaan bersama protektif *coating* dan proteksi katodik, material *coating* harus memiliki dielectric Strength. Kekuatan dielektrik adalah kemampuan material *coating* untuk memutus rangkaian listrik yang terbangun selama reaksi korosi berlangsung. Hal ini terjadi dengan menahan jalannya elektron dan mencegah logam terlarut kedalam elektrolit pada anoda. Kekuatan dielektrik suatu lapisan akan dipengaruhi oleh penyerapan uap air, semakin rendah kemampuannya menyerap air, maka kekuatan dielektrik akan semakin baik.

4. Fleksibilitas

Coating material yang dapat bertahan dalam lingkungan yang korosif, harus memiliki sifat fleksibel karena *coating* material akan memanjang atau berkontraksi bersama-sama substrat akibat variasi temperatur dan tegangan. *Coating* material akan retak apabila tidak memiliki sifat fleksibilitas.

5. Ketahanan Abrasi

Coating yang digunakan pada bangunan kapal, helikopter *decks*, *barges*, *offshore platforms* adalah contoh-contoh aplikasi *coating* yang baik mengapa *coating* selain berfungsi melindungi konstruksi dari serangan korosi tetapi *coating* juga harus memiliki sifat tahan terhadap abrasi. Aplikasi *coating* material pada komponen tersebut akan menerima beban gesekan karena



mobilitas. Agar material *coating* dapat bertahan dalam lingkungan aplikasi tersebut, maka material *coating* harus memiliki sifat keras, tahan kejut, memiliki kekuatan adhesi yang kuat dan tetap tangguh.

6. Ketahanan Cuaca

Coating material yang tahan terhadap cuaca harus memiliki sifat seperti tahan terhadap sinar matahari, hujan, garam, kelembapan, kimia, ozon, debu, jamur, pemuatan, pengkerutan benda kerja, dan siklus temperatur. Material *coating* yang tahan terhadap cuaca berarti material *coating* harus tahan terhadap semua kondisi yang telah dijelaskan, terhadap *chalking*, *chocking*, *cracking*, *flaking*, *blistering*, kehilangan daya rekat atau perubahan warna.

7. Ketahanan Kimia

Tahan kimia merupakan ketahanan resi dari kerusakan terutama apabila berada atau di ekspose di dalam lingkungan kimia. Secara umum, material *coating* yang termasuk dalam tahan kimia dan yang digunakan untuk proteksi korosi dilingkungan kimia harus memiliki sifat tahan terhadap garam, asam, alkali dengan variasi pH yang besar.

8. Ketahanan Bakteri dan Biologis

Coating yang digunakan pada daerah tropical dan subtropical sebaiknya mengandung anti jamur untuk mencegah *coating* dari kerusakan karena bakteri atau *biological defacement*. Peningkatan kotoran, secara dramatis jamur tersebut akan mengurangi keindahan tampilan *coating*, dan kemudian jamur membentuk kloni dan tidak menghilangkan tetapi penetrasi ke permukaan logam yang menimbulkan korosi. Material *coating* yang tidak memiliki minyak atau hidrokarbon pada lapisan umumnya lebih tahan terhadap bakteri dan jamur.

9. Ketahanan terhadap Kotoran

Sifat ini merupakan sifat yang berkaitan dengan tampilan. Beberapa jenis *coating* cenderung menangkap kotoran dan debu dari udara atau atmosfer, tetapi ada juga jenis *coating* yang tidak



terpengaruh terhadap debu dan kotoran, sehingga tetap kelihatan bersih dan bersinar, kecuali kondisi yang ekstrim.

10. Ketahanan Temperatur Tinggi

Beberapa jenis *coating* digunakan untuk kegunaan yang spesifik atau khusus dimana temperatur merupakan faktor utama, seperti *coating* yang digunakan untuk *stacks* dan bagian luar *process vessels*. Apabila material *coating* digunakan dalam lingkungan yang dingin maka ada tiga hal yang perlu diperhatikan yaitu daya rekat, pengkerutan, dan pengetasan.

11. Ketahanan terhadap Penuaan

Material *coating* harus dapat memberikan proteksi dalam jangka waktu tertentu. Material protektif *coating* harus mampu memberikan proteksi secara efektif sampai beberapa tahun tergantung kondisi lingkungan yang bervariasi cukup luas.

12. Ketahanan Radiasi

Dengan adanya energi atom dan tenaga atom, *coatings* digunakan secara luas untuk proteksi terhadap kontaminasi radio aktif dari berbagai substrat. Agar kondisi menjadi efektif saat digunakan pada berbagai instalasi, *coatings* harus mampu menahan bermacam-macam dari sejumlah radiasi. Beberapa *coating* mengeras, menjadi sangat getas, menyusut, dan retak pada dosis yang berat dari radiasi. Dan lainnya cenderung untuk depolimerisasi dan menjadi lengket dan halus, selagi masih lainnya blister dan kehilangan adhesi.

13. Ketahanan terhadap Tekanan Tanah

Tekanan tanah merupakan hal yang sangat penting pada hubungan dengan *pipeline coating* bawah tanah. Pipa menjadi meluas dan berkontraksi ketika temperatur berubah, seperti halnya pembengkakan dan kontraksi dari dengan tanah seperti dengan kondisi air. Ini merupakan masalah pada tanah liat yang tekanannya tinggi, dimana peluasan suatu sudut menjadi besar ketika basah dan menyusut pada jumlah yang sama ketika kering. Siklus ini terjadi dengan tujuan untuk menarik *coating* dari pipa membuat retak, kosong, atau bagian yang tipis.



14. Ketahanan *Cathodic Disbonding*

Cathodic Disbonding adalah jenis kegagalan yang disebabkan oleh proteksi katodik. Hal ini dihubungkan dengan elektroendoosmosis. Lapisan harus memiliki ketahanan potensial elektrik dibawah proteksi katodik. Banyak dari *coating* dapat menahan potensial katodik pada kira-kira -1,0 volt, dengan potensial optimum pada -0,85 volt. Potensial dari 1,1 volt dan diatasnya dapat membuat kondisi untuk *cathodic disbonding* tergantung dari *coating*, ketebalannya, kekuatan dielektrik, ketahanan terhadap air, dan faktor lainnya.

15. Ketahanan Gesek

Beberapa aplikasi *coating* menerima beban gesekan. Misalnya pada sambungan rivet atau mur dan baut, dimana dua permukaan logam akan bergesekan pada waktu sambungan tersebut menerima beban.

2.6 Persiapan Permukaan

Efektifitas dan lama waktu ketahanan lapisan cat anti korosi yang diterapkan pada baja tergantung pada bagaimana permukaan dari substrat dipersiapkan, kualitas persiapan yang diperlukan merupakan hal yang sangat penting. Sesuai standar *International Organization for Standardization* yang telah ditentukan terdapat empat nilai karat dan nomor dari nilai preparasi. (ASCOATINDO, 2014)

1. Grade A

Permukaan baja sebagian besar tertutup dengan *mill scale*, dan sedikit karat.



Gambar 2.17 Nilai Karat Grade A (ISO 8501-1, 1998)

2. Grade B
Permukaan baja mulai terjadi karat dan *mill scale* mulai terkelupas.



Gambar 2.18 Nilai Karat Grade B (ISO 8501-1, 1998)

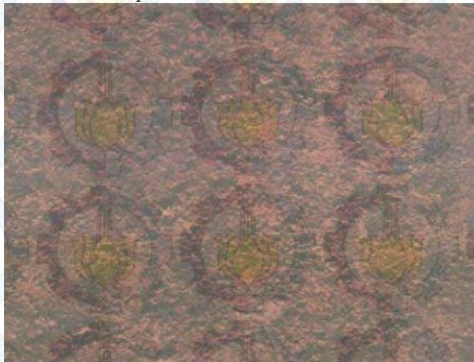
3. Grade C
Permukaan baja dengan *mill scale* mulai berkarat atau itu menjadi scrap, tetapi *pitting* tidak terlihat secara visual



Gambar 2.19 Nilai Karat Grade C (ISO 8501-1, 1998)

4. Grade D

Permukaan baja dengan *mill scale* telah berkarat dan *pitting corrosion* dapat terlihat



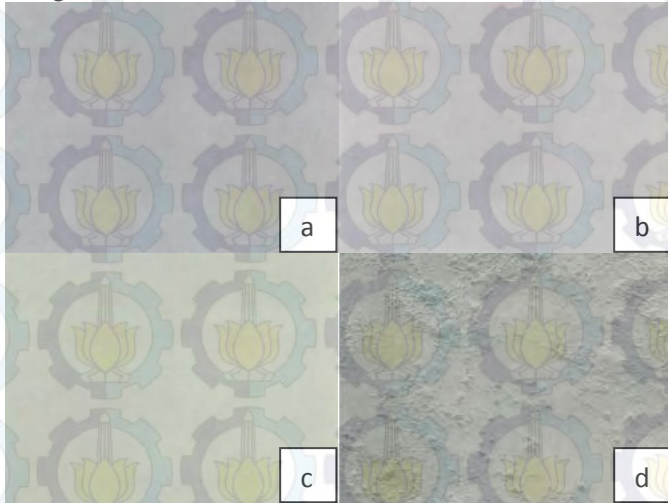
Gambar 2.20 Nilai Karat Grade D (ISO 8501-1, 1998)

1. ISO 8501-1:1998 Sa3

ketika dilihat tanpa perbesaran permukaan haruslah bersih dari minyak dan kotoran serta debu yang terlihat dan juga bebas dari scale karat lapisan cat dan material lainnya. Ini haruslah memiliki warna metalik yang



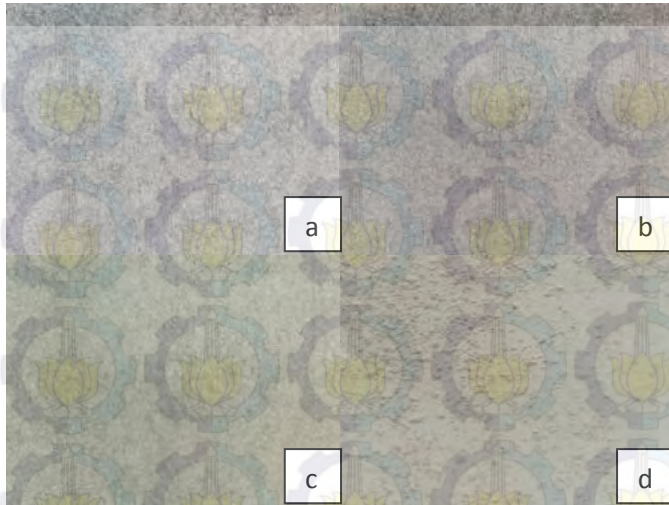
seragam.



Gambar 2.21 Persiapan Permukaan Sa 3 (a) Grade A (b) Grade B (c) Grade C (d) Grade D (ISO 8501-1, 1998)

2. ISO 8501-1:1998 Sa2 ½

ketika dilihat tanpa perbesaran permukaan haruslah bersih dari minyak dan kotoran serta debu yang terlihat dan juga bebas dari scale karat lapisan cat dan material lainnya. Sisa bekas dari kontaminasi hanya boleh terlihat sebagai lapisan kerak tipis berbentuk titik atau garis.



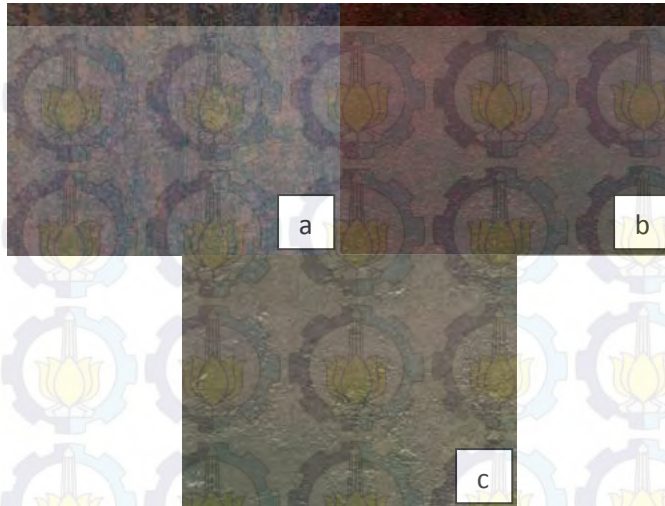
Gambar 2.22 Persiapan Permukaan Sa 2 ½ (a) Grade A (b) Grade B (c) Grade C (d) Grade D (ISO 8501-1, 1998)

3. ISO 8501-1:1998 Sa2
ketika dilihat tanpa perbesaran permukaan haruslah bersih dari minyak dan kotoran serta debu yang terlihat dan juga bebas dari scale karat lapisan cat dan material lainnya. Kontaminasi residual lain haruslah bersih



Gambar 2.23 Persiapan Permukaan Sa 2 (a) Grade B (b) Grade C (c) Grade D (ISO 8501-1, 1998)

4. ISO 8501-1:1998 Sa1
ketika dilihat tanpa perbesaran permukaan haruslah bersih dari minyak dan kotoran serta debu yang terlihat dan juga bebas dari scale karat lapisan cat dan material lainnya.

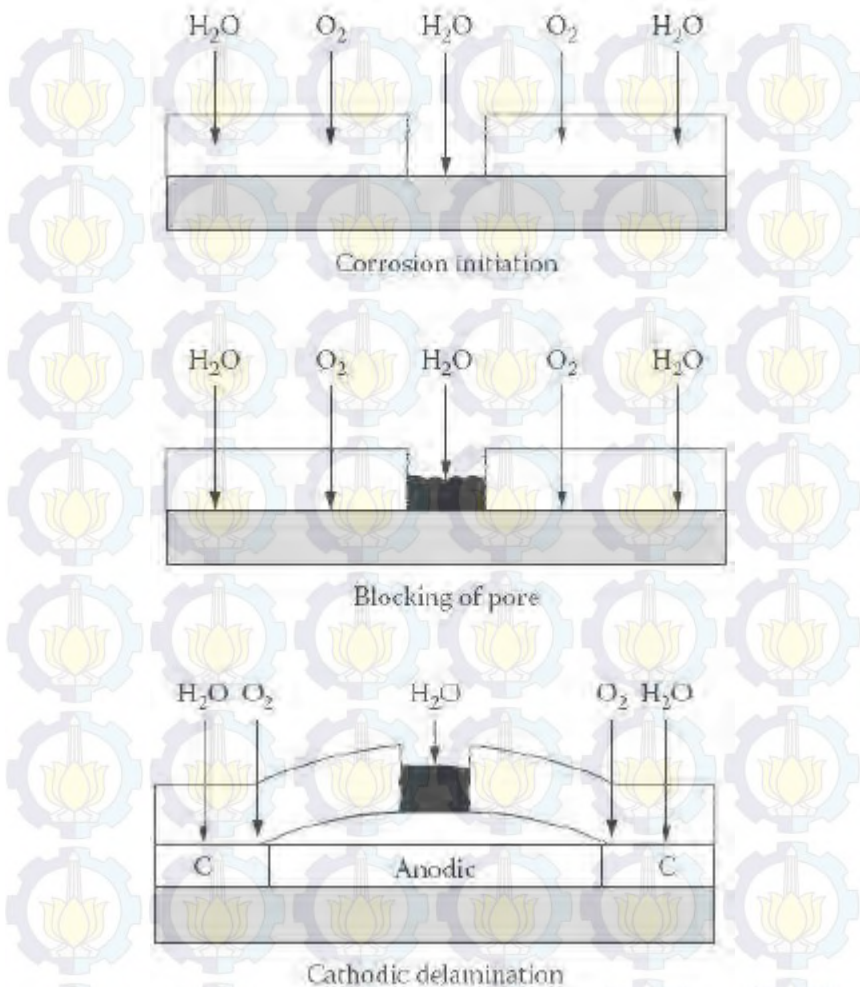


Gambar 2.24 Persiapan Permukaan Sa 1 (a) Grade B (b) Grade C (c) Grade D (ISO 8501-1, 1998)

2.7 Cathodic Disbondment

Cathodic disbondment adalah keadaan dimana lapisan cat kehilangan daya lekat pada substrat dikarenakan kehadiran tegangan proteksi katodik. (Roberge, 2008)

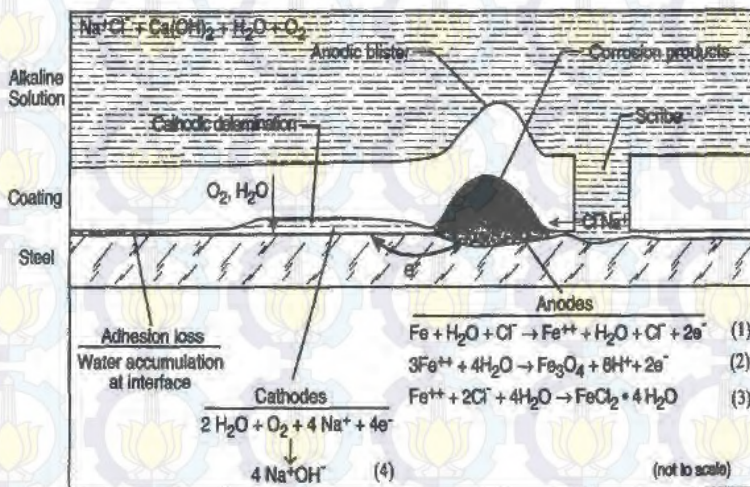
Oleh karena itu kadang disebut juga sebagai *cathodic delamination*. Separasi anoda dan katoda pada lokasi holiday yang mendorong terjadinya *blistering*. Inisiasi terjadinya *blistering* pada daerah holiday dapat dilihat pada gambar 2.25 (Knudsen, 2008)



Gambar 2.25 Inisiasi Blistering pada daerah Holiday (Knudsen, 2008)

Mekanisme *disbondment* dimulai dengan pembentukan lingkungan alkalin oleh reaksi katodik, yaitu reduksi oksigen di

dalam air. Reaksi ini meningkatkan pH di wilayah katodik sehingga menimbulkan efek saponifikasi, sehingga menyebabkan lapisan cat kehilangan daya lekat dari substrat. Gambar 2.26 menunjukkan mekanisme terjadinya *disbondment* lapisan cat pada baja dalam larutan jenuh $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan NaCl (Nguyen, 1996)



Gambar 2.26 Mekanisme *Cathodic Disbondment* lapisan cat pada baja dalam larutan jenuh $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan NaCl (Nguyen, 1996)

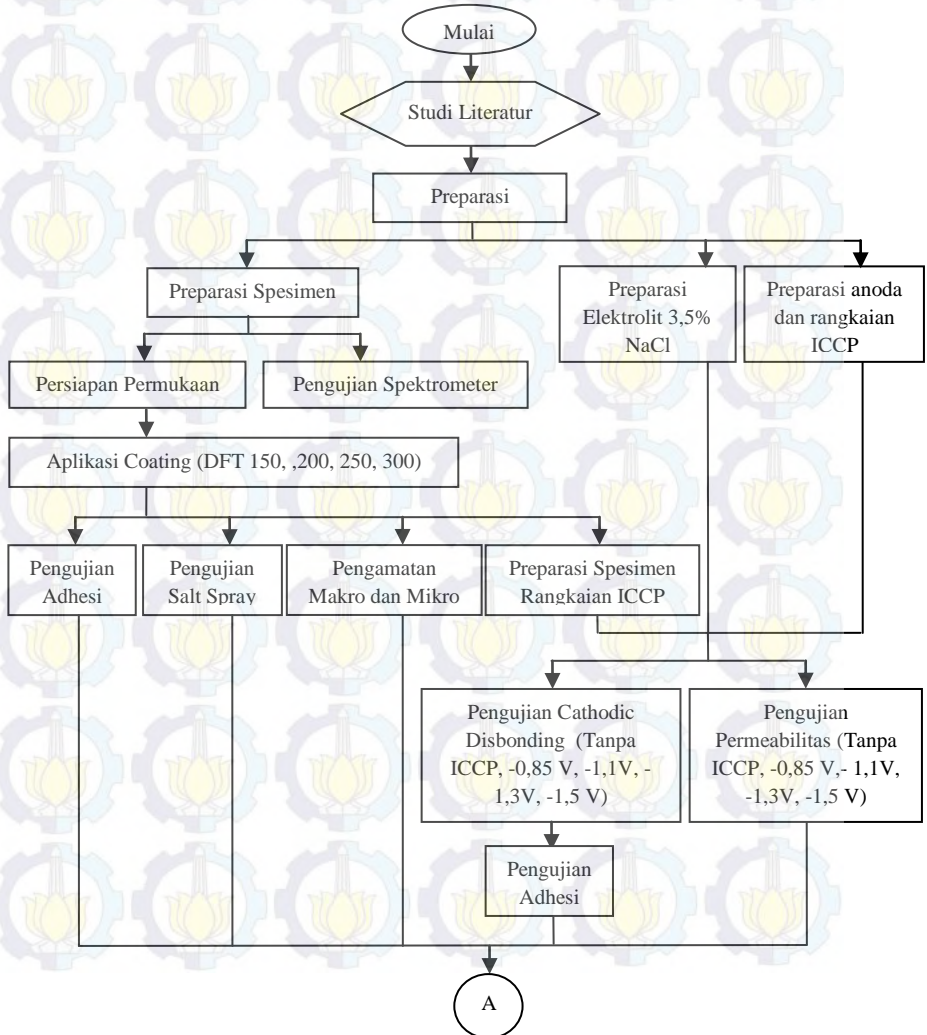


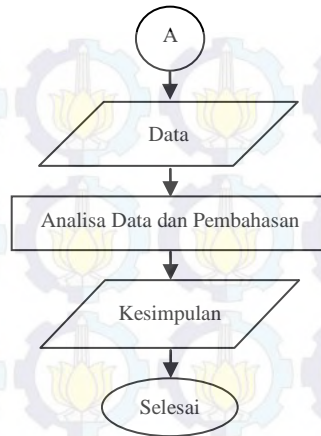
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Alat Surface Preparation (Abrasive Blasting)*
Surface preparation ini menggunakan sand blasting, digunakan untuk membersihkan permukaan substrat dari kotoran, karat, dan *scale*.



Gambar 3.2 Alat Sand Blasting

2. *Alat Uji Kekasaran Permukaan (Roughness Meter)*
Digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan

dari substrat sebelum dilakukan aplikasi pengecatan



Gambar 3.3 *Roughness Meter*

3. Alat Aplikasi Cat (*Conventional Spray*)
Digunakan untuk aplikasi coating, bekerja dengan adanya tekanan udara yang diberikan dari kompresor



Gambar 3.4 *Conventional Spray*

4. Alat Ukur WFT (*Wet Film Thickness*)
Digunakan untuk mengetahui tebal lapisan cat basah pada proses aplikasi coating, pengukuran ketebalannya menggunakan *Comb Gauge*



Gambar 3.5 Comb Gauge

5. Alat Ukur DFT (*Dry Film Thickness*)
Digunakan untuk mengetahui tebal lapisan cat kering setelah aplikasi coating, pengukuran ini menggunakan *Electronic Gauge*



Gambar 3.6 *Electronic Gauge*

6. Neraca Analitik (*Mettler Toledo*)
Digunakan untuk melakukan penimbangan massa pada preparasi elektrolit



Gambar 3.7 Neraca Analitik

7. Alat Uji Kekuatan Adhesi (*Pull Off Test*)
Digunakan untuk mengetahui kekuatan lekat material coating terhadap substrat



Gambar 3.8 Alat Uji Kekuatan Adhesi

8. Mikroskop Stereo
Digunakan untuk melakukan pengamatan makro antara ikatan lapisan substrat dengan cat serta pengukuran pelebaran hasil salt spray



Gambar 3.9 Mikroskop Stereo

9. Mikroskop Optik
Digunakan untuk melakukan pengamatan mikro
ikatan lapisan antara substrat dengan cat



Gambar 3.10 Mikroskop Optik

10. *Container box* plastik

Digunakan sebagai tempat untuk melakukan proses pengujian *Cathodic Disbonding* dan permeabilitas



Gambar 3.11 *Container Box*

11. Multimeter

Digunakan untuk mengetahui nilai tegangan proteksi dan arus yang diberikan



Gambar 3.12 Multimeter

12. Rectifier

Digunakan sebagai sumber arus pada ICCP



Gambar 3.13 Rectifier

3.3 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Substrat

Untuk Substrat atau spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah baja API 5L Grade B

Tabel 3.1 Komposisi Kimia API 5L Grade B
(Institute, 2004)

Elemen	Kadar (%)
<i>Carbon</i>	0.22
<i>Mangan</i>	1.2
<i>Phospor</i>	0.025
<i>Sulfur</i>	0.015
<i>Titanium</i>	0.04

2. Material Coating

Untuk material coating yang digunakan pada penelitian ini adalah *epoxy* jenis Penguard Primer (Jotun), dengan komponen A sebagai Binder dan B sebagai *Curing Agent*, sedangkan untuk Solvent yang digunakan adalah Thinner Jotun No. 17. Berikut merupakan komposisi dari material coating yang digunakan :



Tabel 3.2 Komposisi Cat Epoksi

Nama Bahan	%
epoksi resin (MW 700-1200	10-25
<i>Xylene</i>	10-25
<i>n-butanol</i>	2,5-10
<i>Solvent Naptha,light arom</i>	2,5-10
<i>Etil Benzen</i>	2,5-10
<i>Propilen glikol monometil eter</i>	2,5-10

Tabel 3.3 Komposisi Pelarut

Nama Bahan	%
Solvent naptha(petroleum), light aromatic	50-100
<i>Xylene</i>	10-25
<i>Butan-1-ol</i>	10-25
<i>Ethylbenzene</i>	2,5-10

3. Elektrolit

Untuk larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan NaCl 3,5% yang didapatkan dengan melarutkan serbuk NaCl kedalam aquades

4. Anoda Grafit

Digunakan sebagai anoda pada rangkaian ICCP

3.4 Metode Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan dengan metode penelitian sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Penelitian ini mengacu pada literatur terkait *organic coating, protective coating, dan cathodic protection* (ICCP), baik dari buku maupun jurnal yang mempelajari terkait hal-hal tersebut.



2. Eksperimental

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian permeabilitas, cathodic disbonding, dan kekuatan adhesi.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Preparasi Spesimen

Spesimen yang digunakan adalah baja API 5L grade B yang kemudian di potong menjadi ukuran 100x50x4 mm berjumlah 48 buah.

3.5.2 Pengujian Spektrometer

Pengujian spektrometer dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia pada baja yang digunakan sebagai sampel uji sesuai atau tidak dengan spesifikasi pada baja API 5L Grade B.

3.5.3 Persiapan Permukaan

Setelah dilakukan pemotongan pada spesimen kemudian maka dilakukan persiapan permukaan yaitu pembersihan permukaan sebelum dilakukan aplikasi coating. Sebelum dilakukan pembersihan permukaan dengan *abrasive blasting* dilakukan pembersihan permukaan awal dengan *Solvent Cleaning* sesuai dengan standar SSPC (*Steel Structures Painting Council*)-SP1, karena *abrasive blasting* tidak dapat membersihkan *grease* atau *oil* sehingga dilakukan *solvent cleaning* sebelumnya.

Sebelum dilakukan pembersihan permukaan dilakukan beberapa pengecekan alat dan bahan yang digunakan dalam *abrasive blasting* ini yaitu :

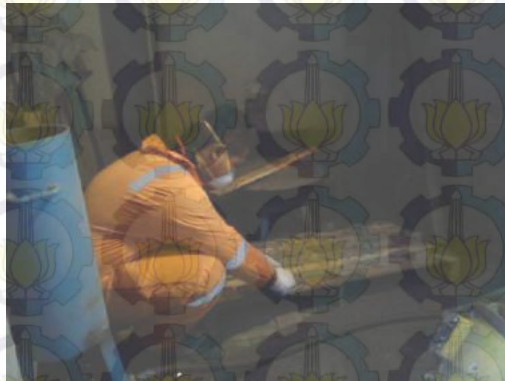
1. Bloter Test

Pengujian atau pengecekan yang dilakukan untuk mengetahui kondisi angin dan kompresor yang digunakan mengandung minyak dan air atau tidak. Standar untuk pengujian ini adalah ASTM D4285 “*Standard Test Method for Indicating Oil or Water in Compressed Air*”, pengujiannya dengan cara menyemprotkan angin kompresor ke kain putih.

2. Vial Test

Pengujian atau pengecekan yang dilakukan untuk mengetahui kebersihan dari bahan yang digunakan sebagai abrasif pada *abrasive blasting*. Standar untuk pengujian ini adalah ASTM D4940 “*Standard Test Method for Conductrimetric Analysis of Water Soluble Ionic Contamination of Blasting Abrasive*”

Setelah dilakukan pengecekan lalu dilakukan pembersihan permukaan dengan *Abrasive Blasting* hingga mendapatkan nilai yang sesuai dengan standar ISO 8501-1 Sa 2 $\frac{1}{2}$ “*Very Thorough Blast Cleaning*”



Gambar 3.14 *Sand Blasting*



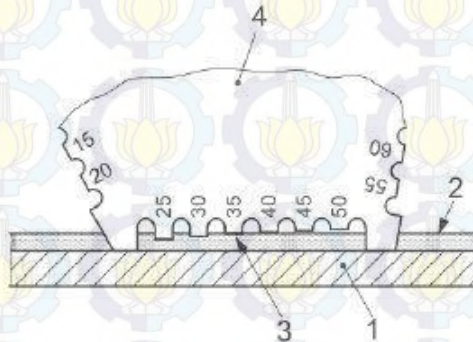
Gambar 3.15 Sa2 $\frac{1}{2}$ Hasil Sand Blasting



3.5.4 Aplikasi Coating

Sebelum dilakukan aplikasi coating, terlebih dahulu dilakukan pengecekan kondisi lingkungan. Dimana aplikasi coating dapat dilaksanakan apabila temperatur udara dan permukaan baja yang akan di coating dalam range yang ditunjukkan pada spesifikasi atau instruksi yang dikeluarkan oleh manufaktur. Pekerjaan dapat dilaksanakan apabila temperatur udara lebih rendah 5°C dan temperatur permukaan benda lebih rendah 3°C diatas temperatur *dew point* dan *relative humidity* tidak boleh lebih dari 85%. *Dew Point* adalah temperatur dimana uap air akan mengembun. (ASCOATINDO, 2014)

Aplikasi coating dilakukan dengan adanya variasi ketebalan DFT (*Dry Film thickness*) 150, 200, 250, dan 300 mikron. Setelah dilakukan pengecatan kemudian dilakukan pengukuran ketebalan basah (*Wet Film thickness*) dan (*Dry Film thickness*) mengacu pada standar ISO 2808 "*Paints and Vanishes-Determination of Film Thickness*" Pengukuran WFT dilakukan ketika cat masih basah menggunakan *Comb Gauge*.



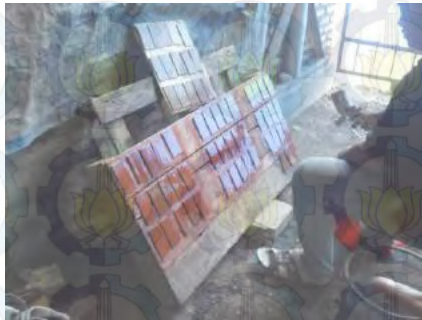
Gambar 3.16 Mekanisme Penggunaan Comb Gauge
(Standarization, 2007)

Dimana :

1. Permukaan Sampel
2. Lapisan Cat

3. Titik kontak basah (*Wetting contact*)
4. *Comb Gauge*

Untuk pengukuran DFT atau tebal kering digunakan standar SSPC-PA2 “*Procedure for Determining Conformance to Dry Coating Thickness Requirements*” menggunakan *electronic gauge*. Nilai DFT yang didapat haruslah 150,200, 250, dan 300 mikron sesuai rancangan penelitian.



Gambar 3.17 Aplikasi Coating



Gambar 3.18 Proses Pengeringan



3.5.5 Preparasi Elektrolit

Elektrolit yang digunakan sebagai kondisi lingkungan air laut pada penelitian ini adalah NaCl 3,5%, dimana untuk mendapatkan larutan elektrolit ini adalah dengan melarutkan serbuk NaCl sebanyak 35,24 gram kedalam untuk setiap liter aquades kemudian mengaduk larutan hingga homogen.

3.5.6 Pembuatan Rangkaian ICCP

1. Preparasi Anoda

Anoda yang digunakan adalah anoda grafit, langkah yang dilakukan adalah:

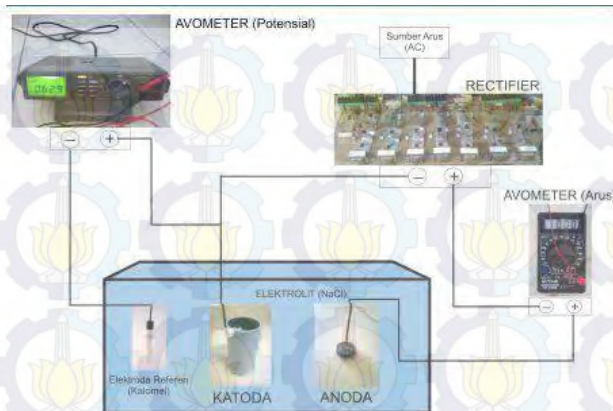
- Memotong anoda hingga berukuran tebal 10 mm dan diameter 30 mm
- Memberi lubang bagian tengah anoda sebagai tempat memasang kabel anoda
- Memasang kabel pada anoda

2. Pengondisian Spesimen

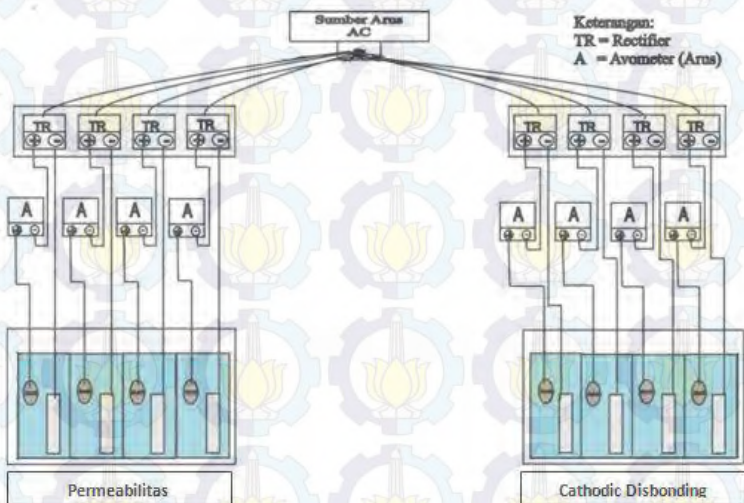
Spesimen baja API 5L Grade B dikondisikan sebagai katoda pada rangkaian ICCP, spesimen dimasukkan kedalam larutan NaCl yang telah dibuat yang ditempatkan pada *Container Box*.

3. Pemasangan Rangkaian

Setelah spesimen baja API 5L grade B sebagai katoda dan anoda grafit dimasukkan kedalam *Container Box*, katoda dan anoda dihubungkan dengan *rectifier* melalui kabel dan digital multimeter.



Gambar 3.19 Skema Rangkaian ICCP



Gambar 3.20 Skema Rangkaian ICCP Penelitian



3.5.7 Pengujian Cathodic Disbonding

Pengujian cathodic disbonding ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari lapisan atau *coating* ketika digunakan bersama dengan *Cathodic Protection* dimana ketika *coating* tidak memiliki ketahanan yang baik terhadap arus yang dialirkan dari Cathodic Protection atau arus yang dialirkan tidak sesuai atau *Overprotection* maka lapisannya akan mejadi rusak atau mengalami cacat. Untuk standar pengujian yang digunakan adalah ASTM G8 "*Standard Test Methods for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings*". Dimana pengujiannya dilakukan dengan menempatkan spesimen yang telah dilapisi dengan epoksi pada ketebalan yang sudah ditentukan atau sesuai variabel pada larutan NaCl 3,5% yang kemudian dirangkai dengan anoda, rectifier, dan multimeter, sehingga membentuk rangkaian ICCP, lalu spesimen tersebut diberi arus dengan tegangan proteksi sesuai dengan variabel yang telah ditentukan.



Gambar 3.21 Pengujian Cathodic disbonding

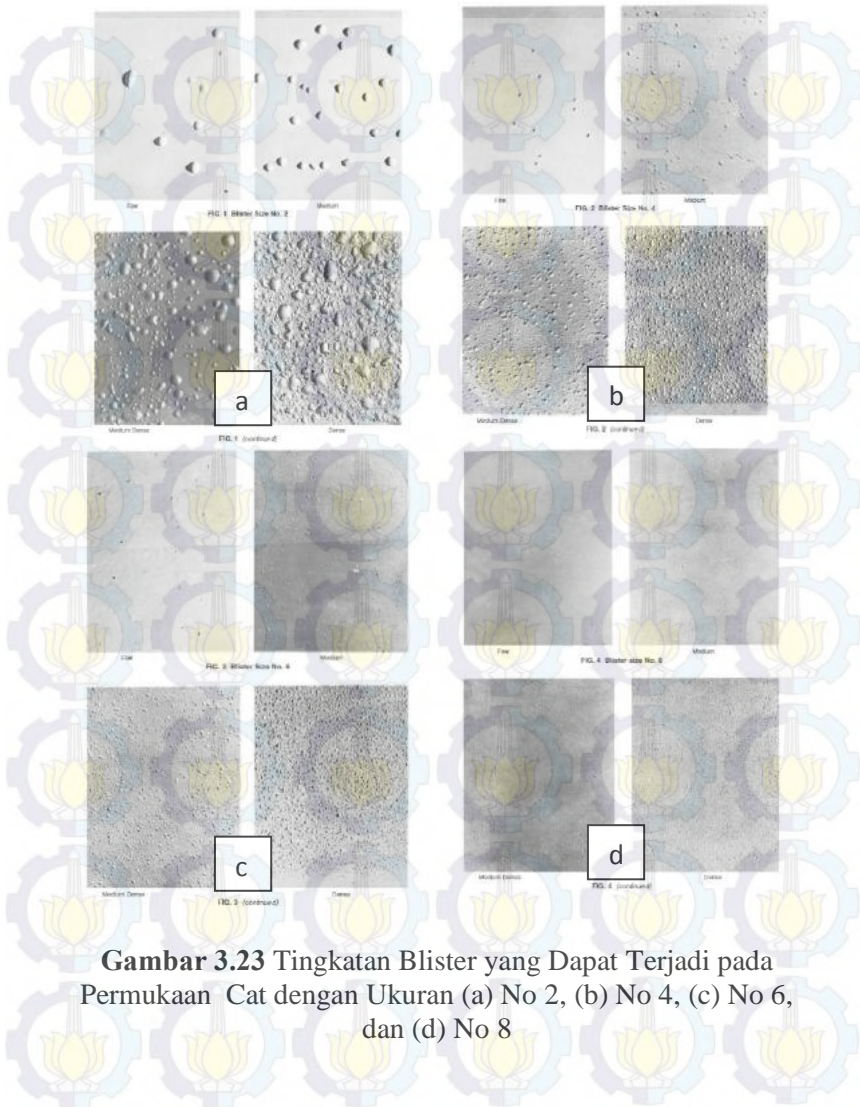
3.5.8 Pengujian Permeabilitas

Pengujian Permeabilitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan ketahanan coating terhadap air. Standar pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah ASTM D870

“Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings Using Water Immersion”. Pengujian ini dilakukan dengan mencelupkan spesimen yang telah dilapisi oleh *protective coating* kedalam larutan NaCl 3,5% yang telah disiapkan selama waktu pengujian cathodic disbonding dilakukan. Dari hasil permeabilitas ini maka akan didapatkan kondisi kemampuan ketahanan coating terhadap air secara kualitatif. Hasil dari pengujian permeabilitas akan menimbulkan adanya cacat blister pada cat. seberapa parah kerusakan yang ditimbulkan oleh cacat blistering ini pada coating dapat dilakukan dengan mengukur tingkat blister yang terjadi, pengukuran tingkat blister ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian dengan standar ASTM D714 *“Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints”*. Berdasarkan standar tersebut, terdapat beberapa tingkatan ukuran dan jumlah blister yang ada. Tingkatan ukuran blister sendiri dimulai dari skala sepuluh hingga nol dimana pada ukuran sepuluh menandakan tidak adanya blister pada permukaan. Kemudian untuk tingkatan jumlah blister ditandai mulai dari *few* (sedikit), *medium* (sedang), *medium dense* (cukup banyak), dan *dense* (banyak sekali). Tingkatan blister yang dapat terjadi pada permukaan ditunjukkan pada gambar 3.23.



Gambar 3.22 Pengujian Permeabilitas



Gambar 3.23 Tingkatan Blister yang Dapat Terjadi pada Permukaan Cat dengan Ukuran (a) No 2, (b) No 4, (c) No 6, dan (d) No 8

3.5.9 Pengujian Kekuatan Adhesi

Pengujian kekuatan adhesi ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan lekat atau ikatan adhesi lapisan cat dengan substrat. Pengujian ini dilakukan sesuai standar ASTM D4541 “*Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion testers*” metode *pull-off test*. Pengujian ini dilakukan sebelum dan sesudah pengujian cathodic disbondment. Pengujian dilakukan dengan cara menempelkan sebuah beban tetap yang tegak lurus terhadap lapisan permukaan. Pengujian dilakukan setelah campuran adhesif atau coating telah selesai mengalami *curing*, setelah itu dilakukan penarikan beban tersebut dan didapatkan nilai kekuatan adhesi.



Gambar 3.24 Pull Off Test

3.5.10 Pengujian Salt Spray

Pengujian *Salt Spray* atau sembur kabut garam ini dilakukan untuk mengetahui sifat ketahanan korosi dari lapisan cat. Untuk metode yang digunakan mengacu pada ASTM B117



“Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus” dimana metodenya pada penelitian ini menggunakan metode *scratch* dengan menggores lapisan cat dengan posisi sampel 15-30 derajat dari vertikal, dengan pH 6,5-7,2 dan temperatur 35°C, kemudian nantinya dapat dilihat pelebaran kerusakan cat. Untuk *scratch* yang digoreskan menggunakan *tool steel* dengan lebar 1 mm, kemudian setelah pengujian dilihat pelebaran dari *scratch*. Perbandingan dilakukan menggunakan standar ASTM D1654 *“Standard Test Method for Evaluation of Painted and Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments”*



Gambar 3.25 Pengujian Sembur Kabut Garam

3.5.11 Pengamatan Makro dan Mikro

Pengamatan makro dan mikro dilakukan untuk melihat ikatan yang terbentuk antara permukaan dengan cat dan melihat apakah cat dapat berpenetrasi dengan baik kedalam lubang yang terbentuk hasil dari *blasting*.



3.6 Rancangan Penelitian

Tabel 3.4 Rancangan Penelitian

Variabel		Pengujian				
Tegangan (Volt)	Ketebalan DFT (mikron)	Permeability ASTM D870	Adhesion ASTM D4541	Cathodic Disbonding ASTM G8	Salt Spray ASTM B117	Pengamatan Makro dan Mikro
Tanpa ICCP	150					
	200					
	250					
	300					
-0,85	150					
	200					
	250					
	300					
-1,1	150					
	200					
	250					
	300					
-1,3	150					
	200					
	250					
	300					
-1,5	150					
	200					
	250					
	300					



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Spektrometer

Pengujian spektrometer ini dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dari baja API 5L grade B yang digunakan sebagai sampel uji. Tabel 4.1 menunjukkan komposisi kimia baja API 5 L dari hasil uji spektrometer yang dilakukan. Dari komposisi kimia tersebut diketahui bahwa sampel uji yang digunakan tergolong dalam *low carbon steel* karena kadar karbon kurang dari 0,3%.

Tabel 4.1 Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B

Fe	C	Si	Mn	P
99,1	0,116	0,222	0,378	0,0289
S	Cr	Mo	Ni	Al
0,0076	0,0331	0,0027	0,0073	0,0023
Co	Cu	Nb	Ti	V
0,0048	0,0092	<0,001	<0,001	<0,001
W	Pb	Sn	B	Ca
0,0182	<0,0025	0,0013	<0,0003	0,0006
Zr	Bi	As	N	Sb
<0,0015	0,014	0,0028	0,0296	<0,003

4.2 Pengujian Adhesi Awal

Pada pengujian daya lekat atau adhesi *pull off test* awal yang dilakukan pada lapisan epoksi dengan substrat baja API 5L Grade B dengan terdapat variasi ketebalan kering cat yaitu DFT (*Dry Film Thickness*) 150, 200, 250, dan 300. Sebelum dilakukan *pull off test* dilakukan pembersihan lapisan coating dari debu dan kotoran atau kontaminan, lalu dilakukan penempelan pin dolly setelah itu dibiarkan mengering selama satu hari baru kemudian dilakukan penarikan atau *pull of test*. Dari hasil pengujian adhesi *pull off test* ini didapatkan nilai daya lekat terhadap ketebalan dan



merupakan nilai awal daya lekat cat sebelum dilakukan pengujian *cathodic disbonding*.

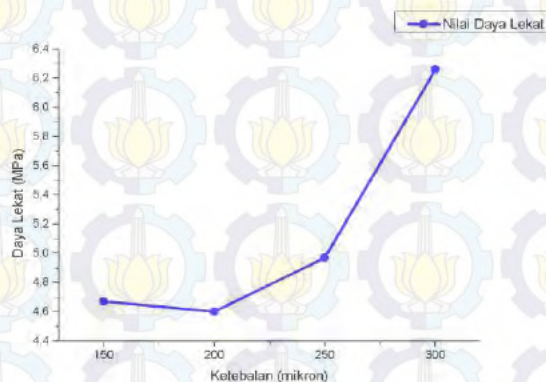
Tabel 4.2 Nilai Daya Lekat Terhadap Variasi Ketebalan

No	Ketebalan Kering (Mikron)	Nilai Daya Lekat (Mpa)	Keterangan	
			Adhesive Failure(%)	Cohesive Failure(%)
1	150	4,67	30,388	69,612
2	200	4,60	18,266	81,734
3	250	4,97	16,378	83,622
4	300	6,26	10,874	89,126

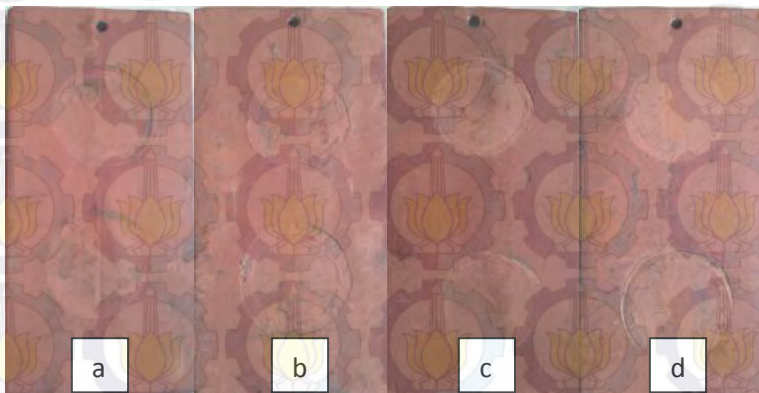
Berdasarkan data pada tabel 4.2 didapatkan bahwa nilai daya lekat tertinggi terdapat pada sampel dengan ketebalan 300 mikron dengan *adhesive failure* sebesar 30,388%, dan terendah pada sampel dengan ketebalan 200 mikron dengan *adhesive failure* sebesar 18,266%. Dapat dilihat bahwa semakin besar ketebalan maka *adhesive failure* yang terjadi akan semakin kecil dan *cohesive failure*nya menjadi lebih besar.

Dari hasil pengujian daya lekat ini, tidak seluruhnya terjadi *adhesive failure* (ikatan antara cat terhadap substrat) tetapi juga *cohesive failure* (ikatan antara cat dengan cat). Hal ini menunjukkan bahwa ikatan *crosslinking* yang terdapat pada *coating* sendiri atau antar cat lebih rendah daripada ikatan yang terjadi antara cat dengan substrat. Berdasarkan *Technical Data Sheet* nilai DFT yang optimal digunakan adalah 50 mikron untuk satu lapisan kering, jadi semakin besar ketebalan cat maka kemungkinan kegagalan ikatan kohesi akan semakin besar, sehingga *adhesive failure* mungkin tidak terjadi sama sekali, hal ini sesuai dengan hasil penelitian dimana semakin tebal cat maka prosentase *adhesive failure* semakin kecil sementara prosentase *cohesive failure* semakin besar karena ikatan antar cat yang semakin rendah. Selain itu *Adhesive failure* akan semakin baik sesuai dengan persiapan permukaan yang dilakukan, ikatan antara

substrat yang terjadi akan semakin baik karena permukaan yang bebas dari kontaminan dan kekasaran permukaan yang membuat ikatan cat dengan substrat lebih kuat, dimana rata-rata kekasaran permukaan yang didapatkan hasil *sand blasting* adalah 98 mikron. Gambar visual hasil pengujian daya lekat dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.1 Grafik Nilai Daya Lekat Terhadap Ketebalan

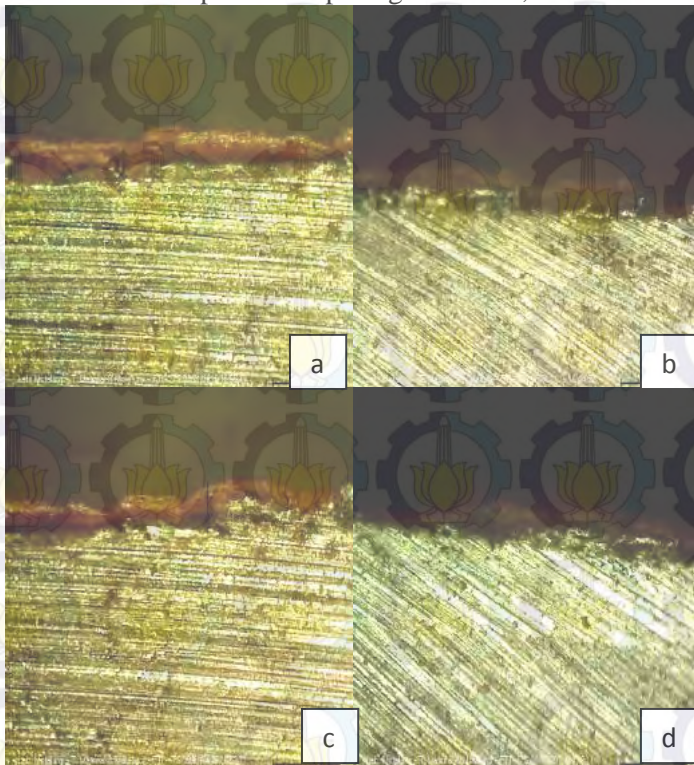


Gambar 4.2 Pola *Adhesive Failure* (a) DFT 150 (b) DFT 200 (c) DFT 250 (d) DFT 300

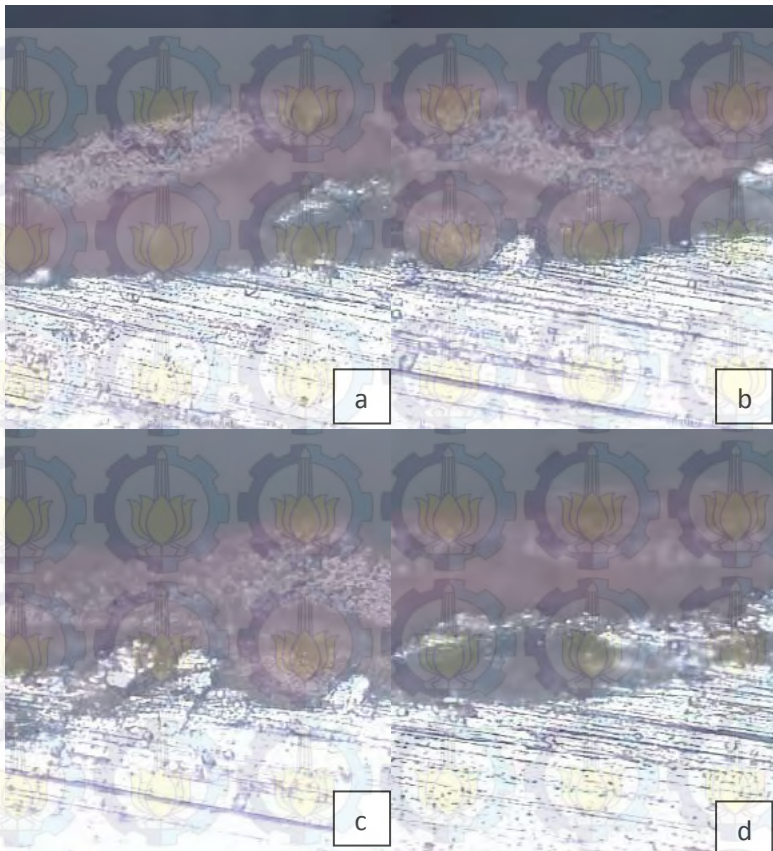


4.3 Pengamatan Makro dan Mikro

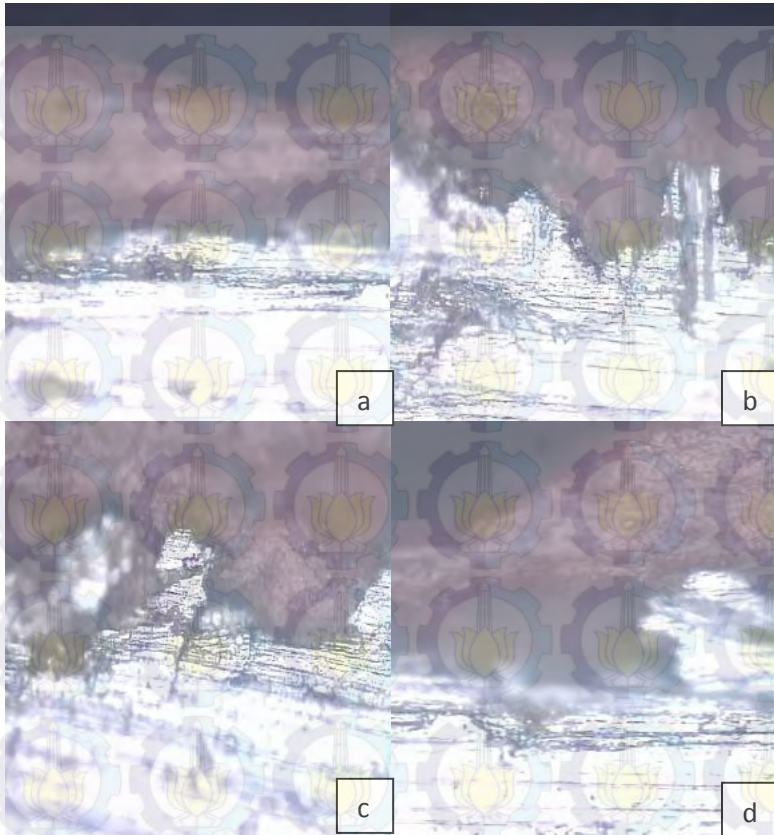
Daya lekat antara permukaan dengan cat juga dapat diamati dengan melakukan pengamatan menggunakan mikroskop, karena daya lekat juga dipengaruhi dengan ikatan yang terbentuk antara permukaan substrat dengan cat. Ikatan ini dipengaruhi dari kekasaran permukaan yang terbentuk oleh hasil dari persiapan permukaan, dimana pada penelitian ini menggunakan *sand blasting* dengan standar kebersihan permukaan Sa2½. Pengamatan makro dan mikro dapat dilihat pada gambar 4.3, 4.4 dan 4.5.



Gambar 4.3 Hasil Foto Makro Perbesaran 32x (a) DFT 150 (b) DFT 200 (c) DFT 250 (d) DFT 300



Gambar 4.4 Hasil Foto Mikro Perbesaran 50x (a) DFT 150
(b) DFT 200 (c) DFT 250 (d) DFT 300



Gambar 4.5 Hasil Foto Mikro Perbesaran 200x (a) DFT 150 (b) DFT 200 (c) DFT 250 (d) DFT 300

Daya lekat cat tergantung pada hasil penetrasi cat yang masuk kedalam lubang-lubang yang terbentuk hasil *sand blasting* atau *abrasive blasting*, dari hasil pengamatan dengan mikroskop dapat dilihat bahwa cat mampu berpenetrasi dengan baik kedalam lubang-lubang hasil blasting, dimana cat masuk mengikuti bentuk dari permukaan substrat, baik dengan ketebalan kering 150, 200, 250, maupun 300 mikron.



4.4 Pengujian Salt Spray

Setelah dilakukan pengujian sembur kabut garam dengan metode *scratch* selama 96 jam, berdasarkan teori diketahui bahwa dengan semakin sedikit perubahan pelebaran yang terjadi, maka laju korosi yang terjadipun juga rendah. Dengan semakin rendahnya laju korosi yang terjadi menunjukkan bahwa cat dapat melindungi logam dengan baik.

Hasil pelebaran goresan yang didapatkan setelah dilakukan pengukuran kemudian dibandingkan dengan data yang ada pada standar. Hal ini dilakukan untuk menentukan seberapa parah pelebaran goresan yang terjadi. Penentuan nilai dan rating dilakukan menurut standar ASTM D1654 "*Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments*". Pada tabel 4.3 berdasarkan standar menunjukkan besarnya rating terhadap pelebaran goresan yang terjadi.



Tabel 4.3 Tingkat Korosi Uji Sembur Kabut Garam Metode Scratch

<i>Rating Of Failure at Scribe</i>		
<i>Representative Mean Creepage From Scribe</i>		
<i>Milimetres</i>	<i>Inches</i> <i>(Approximate)</i>	<i>Rating Number</i>
Zero	0	10
Over 0 to 0.5	0 to 1/64	9
Over 0.5 to 1.0	1/64 to 1/32	8
Over 1.0 to 2.0	1/32 to 1/16	7
Over 2.0 to 3.0	1/16 to 1/8	6
Over 3.0 to 5.0	1/8 to 3/16	5
Over 5.0 to 7.0	3/16 to 1/4	4
Over 7.0 to 10	1/4 to 3/8	3
Over 10 to 13	3/8 to 1/2	2
Over 13 to 16	1/2 to 5/8	1
Over 16 to more	5/8 to more	0

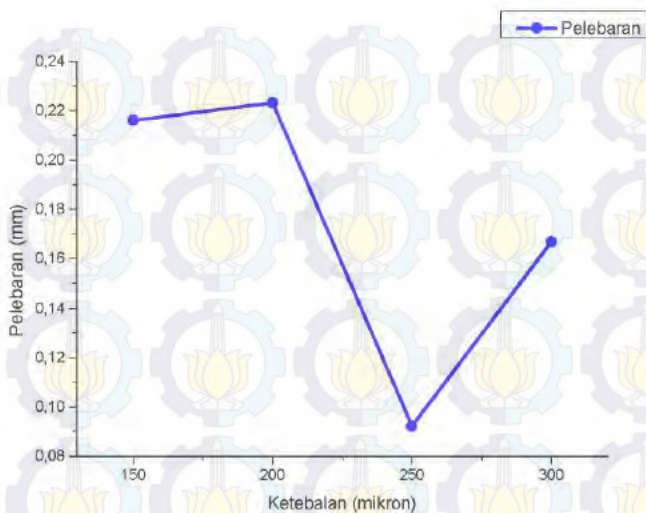
Berdasarkan tabel 4.3 dapat diketahui nilai rating kualitas ketahanan cat dalam memproteksi korosi, dan didapatkan nilai rating hasil pengujian sembur kabut garam pada penelitian ini seperti pada tabel 4.4



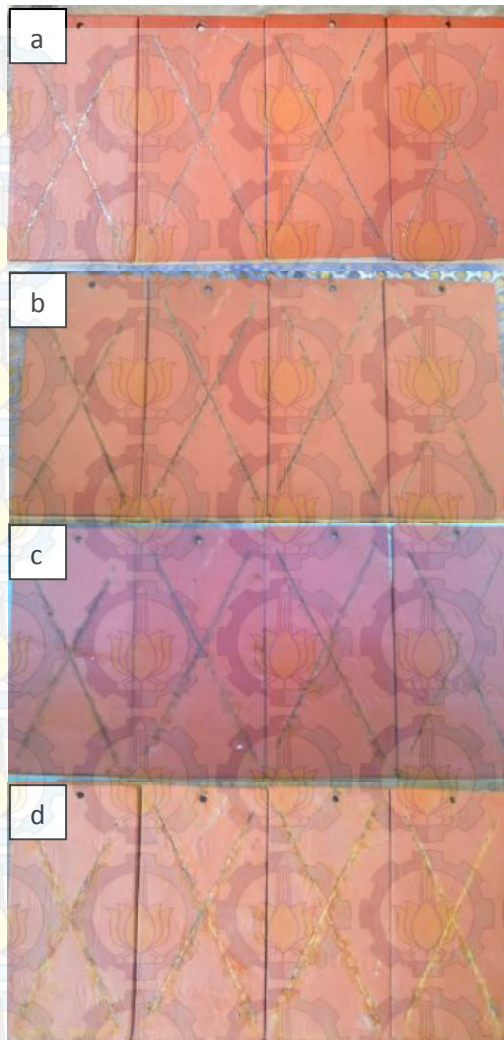
Tabel 4.4 Data pelebaran dan Rating Sampel Pengujian
Sembur Kabut Garam Metode Scratch

No	Ketebalan Kering (Mikron)	Perubahan Lebar (mm)	Rata-rata	Rating
1	150	0,285	0,216	9
		0,211		
		0,152		
2	200	0,233	0,223	9
		0,211		
		0,225		
3	250	0,099	0,092	9
		0,057		
		0,120		
4	300	0,129	0,167	9
		0,126		
		0,245		

Dari tabel 4.3 dan 4.4 didapatkan bahwa pelebaran goresan yang terjadi pada range 0 sampai 0,5 mm, maka sampel tersebut memiliki rating 9. Dapat dilihat bahwa pelebaran goresan yang paling besar adalah pada sampel dengan ketebalan 200 mikron yaitu 0,223 milimeter dan pelebaran goresan terendah pada spesimen dengan ketebalan 250 mikron yaitu 0,092 milimeter dan dari keseluruhan sampel tidak ada yang melebihi pelebaran 0,5 milimeter, sehingga seluruhnya memiliki rating 9 dimana tingkat korosifitasnya adalah rendah maka dapat dikatakan kemampuan dari setiap ketebalan adalah sama baiknya dalam menahan korosi karena ratingnya sama, tetapi tetap adanya pelebaran yang lebih besar maka ketahanan korosinya lebih rendah.



Gambar 4.6 Grafik Pelebaran Cat Hasil Salt Spray



Gambar 4.7 Foto Hasil Pengujian *Salt Spray* NaCl 3,5%
(a) 24 Jam (b) 48 Jam (c) 72 Jam (d) 96 Jam

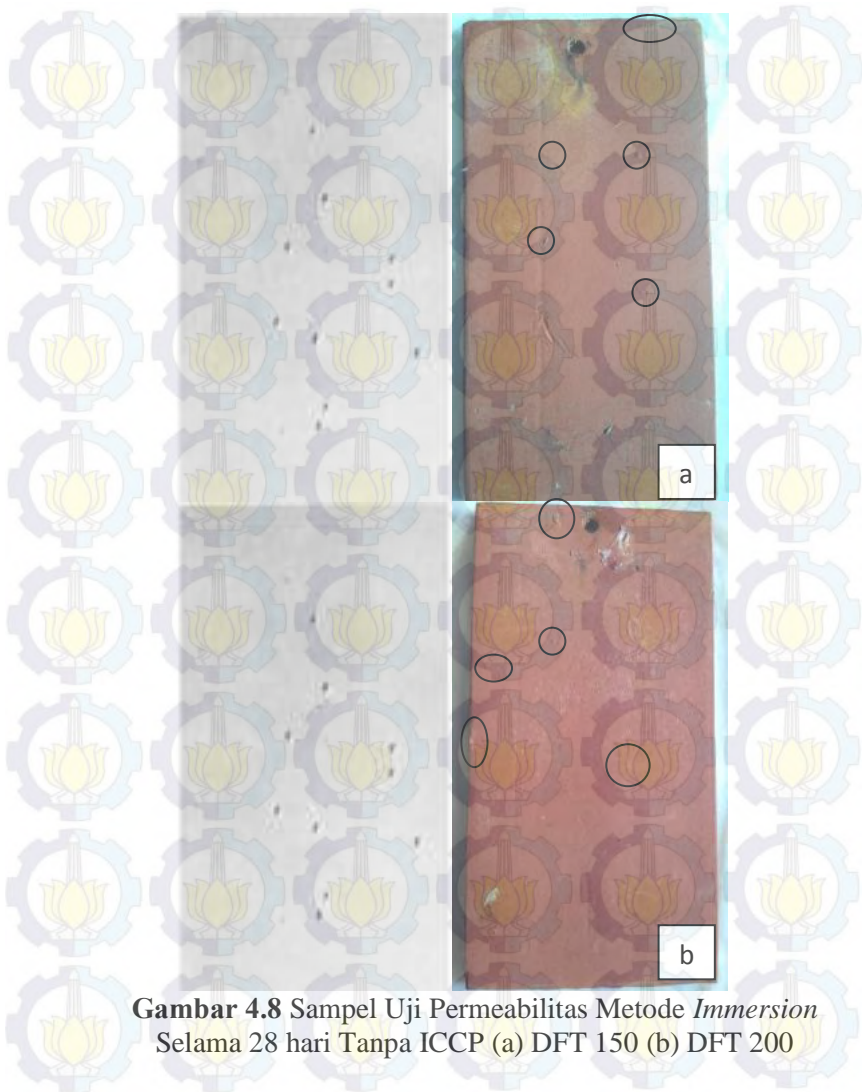


4.5 Pengujian Permeabilitas

Hasil pengujian permeabilitas *coating* berdasarkan standar ASTM D870 “*Standard Practice for Testing Water Resistance of Coating Using Water Immersion*” adalah bentuk secara kualitas dari *coating*, dimana dapat dievaluasi secara visual, seperti adanya perubahan warna pada *coating*, munculnya *blistering*, penghalusan permukaan, berkurangnya nilai adhesi. Pada penelitian ini evaluasi permeabilitas yang dilakukan adalah tingkat *blistering* yang terjadi pada lapisan *coating*.

Blister merupakan salah satu jenis cacat pada *coating*, dimana *blister* ini muncul karena adanya air yang terperangkap dalam lapisan dimana air dapat masuk ke pori-pori dan akhirnya akan terbentuk suatu pembengkakan pada lapisan yang disebut blister. Untuk mengetahui seberapa parah kerusakan yang ditimbulkan oleh cacat *blistering* ini pada *coating* dapat dilakukan dengan mengukur tingkat blister yang terjadi, pengukuran tingkat *blister* ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian dengan standar ASTM D714 “*Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints*”. Berdasarkan standar tersebut, terdapat beberapa tingkatan ukuran dan jumlah *blister* yang ada. Tingkatan ukuran *blister* sendiri dimulai dari skala sepuluh hingga nol dimana pada ukuran sepuluh menandakan tidak adanya *blister* pada permukaan. Kemudian untuk tingkatan jumlah blister ditandai mulai dari *few* (sedikit), *medium* (sedang), *medium dense* (cukup banyak), dan *dense* (banyak sekali).

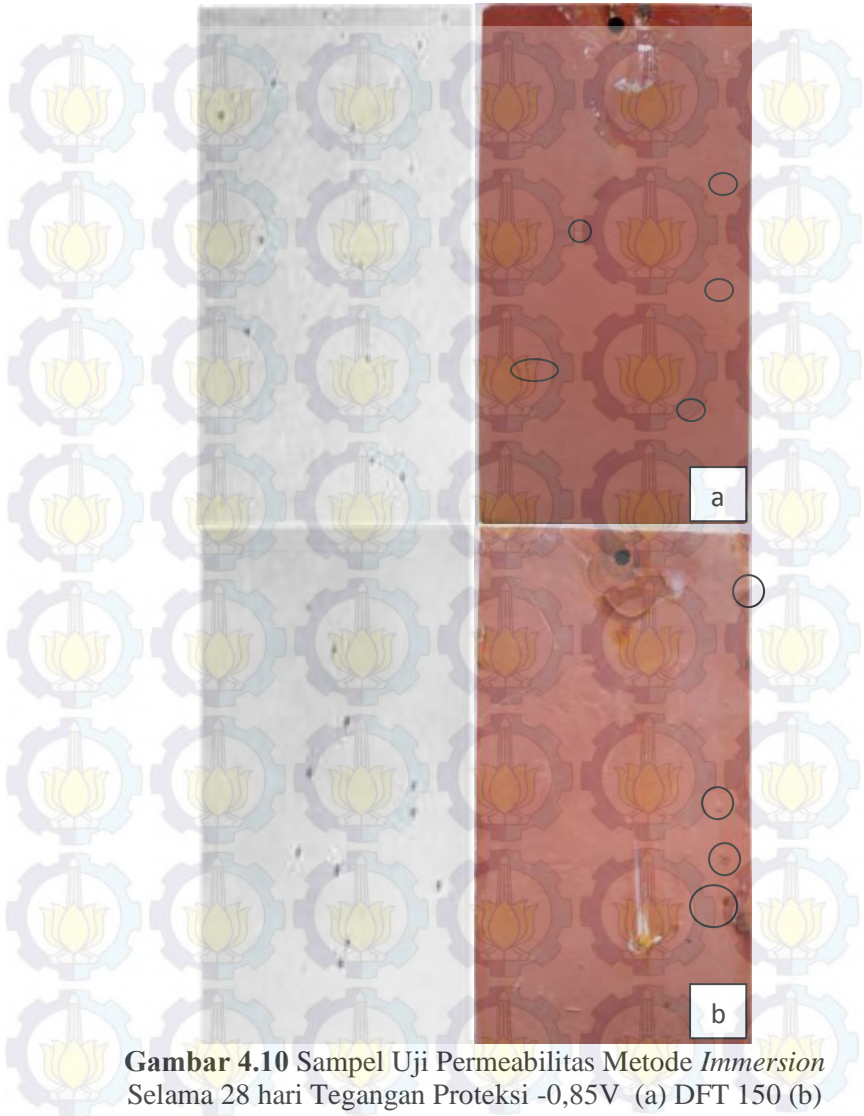
Perlu dilakukan perbandingan hasil pengujian dengan standar untuk mengetahui tingkatan *blistering* yang terjadi sehingga bisa dibandingkan kemampuan permeabilitas dari setiap variabel pada *coating* dari penelitian ini. Maka dilakukan perbandingan antara standar ASTM D714 dengan Gambar 4.8 hingga 4.17 yang merupakan hasil pengujian permeabilitas dengan metode *immers* selama 28 hari dengan variasi ketebalan cat dan tegangan proteksi.



Gambar 4.8 Sampel Uji Permeabilitas Metode *Immersion*
Selama 28 hari Tanpa ICCP (a) DFT 150 (b) DFT 200



Gambar 4.9 Sampel Uji Permeabilitas Metode *Immersion* Selama 28 hari Tanpa ICCP (a) DFT 250 (b) DFT 300



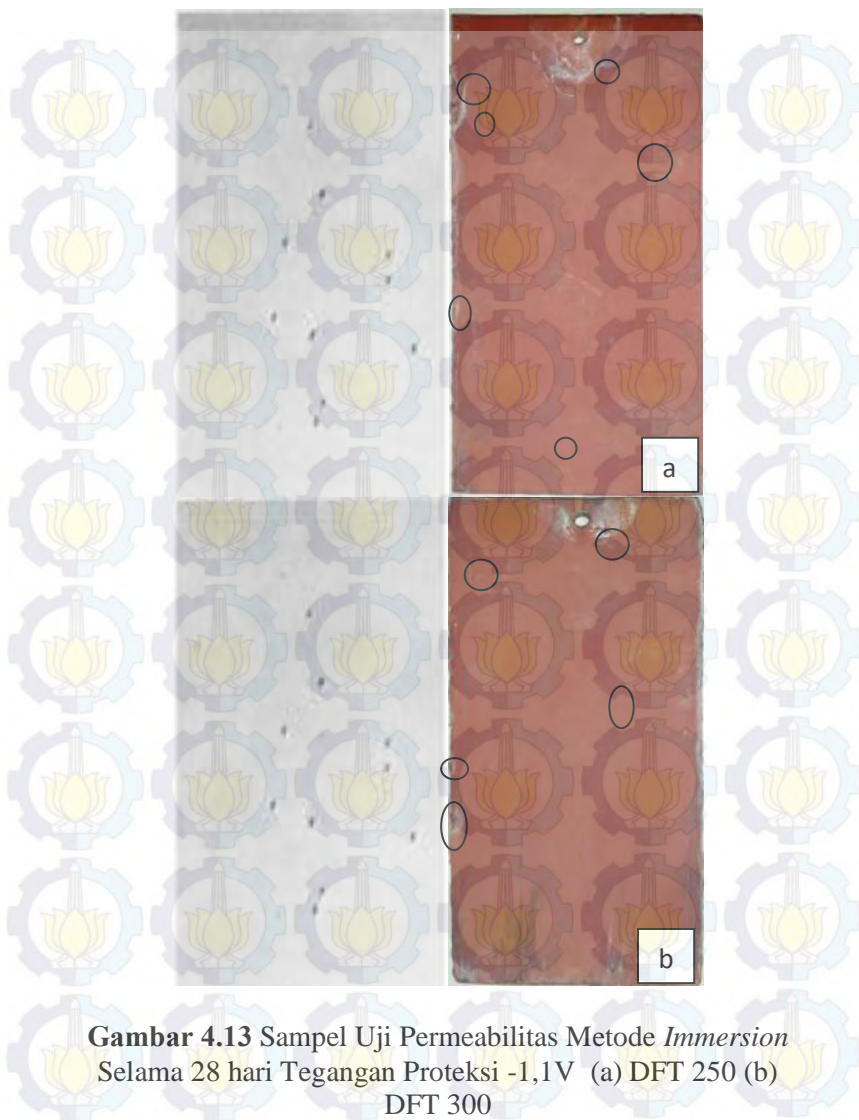
Gambar 4.10 Sampel Uji Permeabilitas Metode *Immersion* Selama 28 hari Tegangan Proteksi $-0,85V$ (a) DFT 150 (b) DFT 200



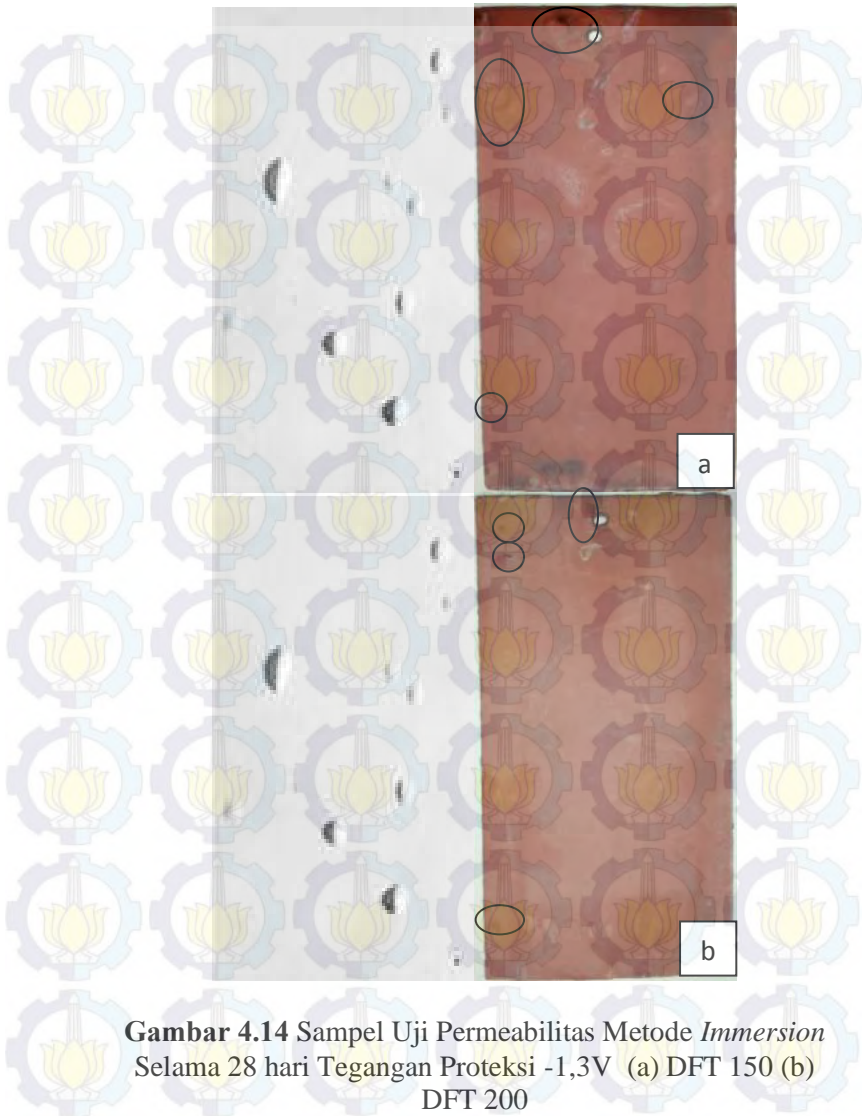
Gambar 4.11 Sampel Uji Permeabilitas Metode *Immersion* Selama 28 hari Tegangan Proteksi -0,85V (a) DFT 250 (b) DFT 300



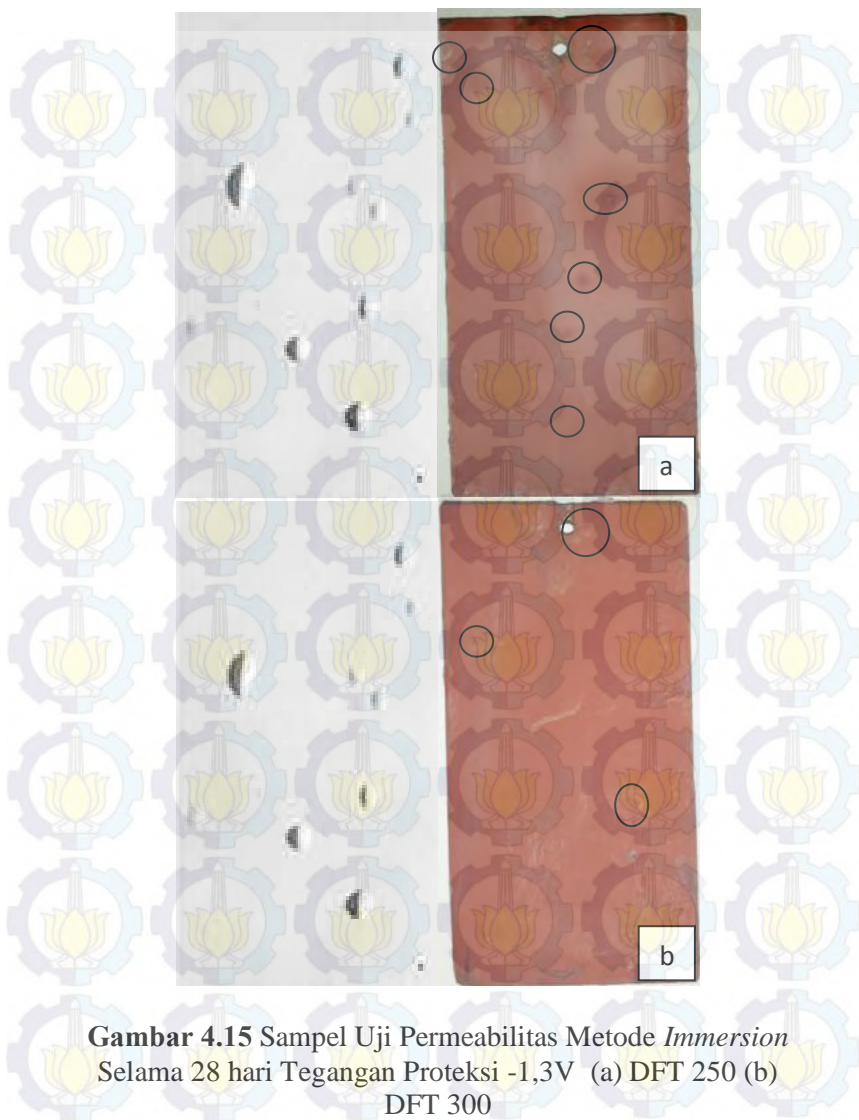
Gambar 4.12 Sampel Uji Permeabilitas Metode *Immersion* Selama 28 hari Tegangan Proteksi -1,1V (a) DFT 150 (b) DFT 200



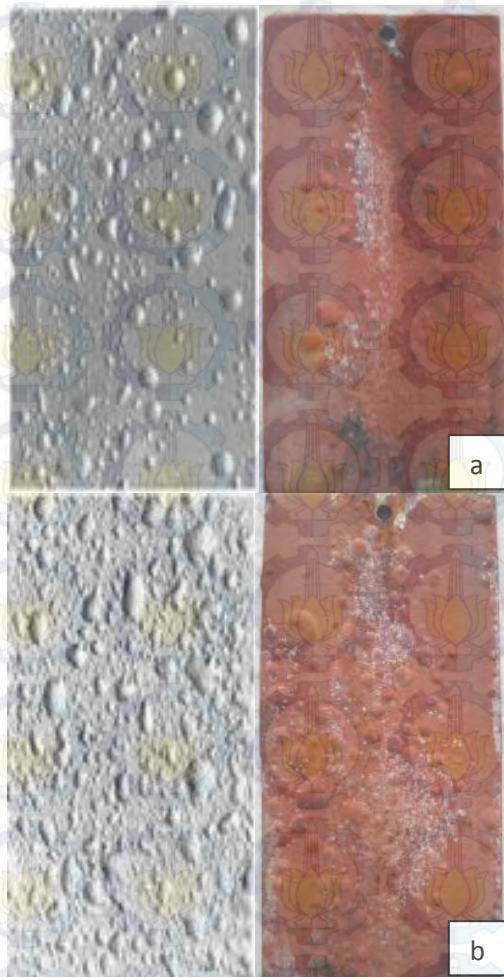
Gambar 4.13 Sampel Uji Permeabilitas Metode *Immersion* Selama 28 hari Tegangan Proteksi -1,1V (a) DFT 250 (b) DFT 300



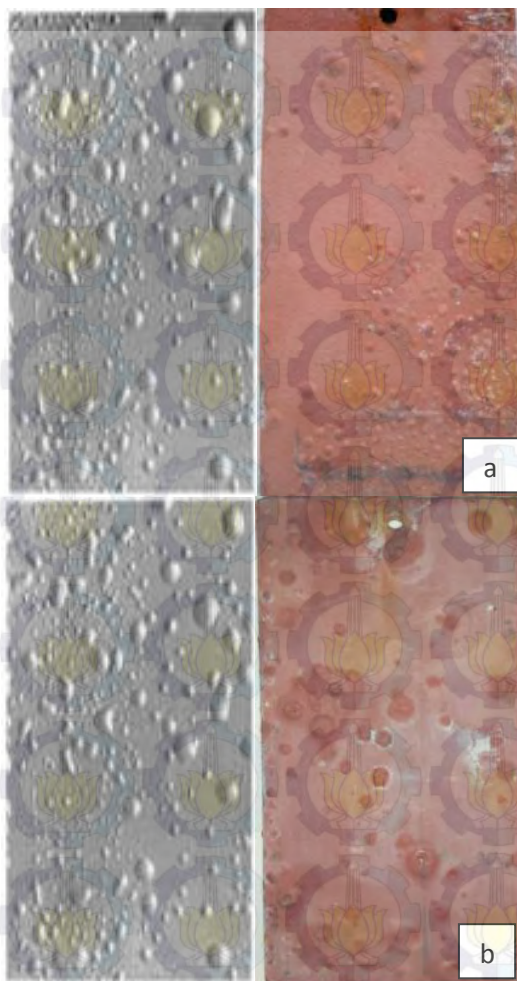
Gambar 4.14 Sampel Uji Permeabilitas Metode *Immersion* Selama 28 hari Tegangan Proteksi -1,3V (a) DFT 150 (b) DFT 200



Gambar 4.15 Sampel Uji Permeabilitas Metode *Immersion* Selama 28 hari Tegangan Proteksi -1,3V (a) DFT 250 (b) DFT 300



Gambar 4.16 Sampel Uji Permeabilitas Metode *Immersion* Selama 28 hari Tegangan Proteksi -1,5V (a) DFT 150 (b) DFT 200



Gambar 4.17 Sampel Uji Permeabilitas Metode *Immersion* Selama 28 hari Tegangan Proteksi -1,5V (a) DFT 250 (b) DFT 300



Berdasarkan hasil perbandingan visual sampel dengan standar dengan memberikan tanda lingkaran hitam yang menunjukkan blistering pada Gambar 4.8 hingga 4.17 didapatkan data seperti pada tabel 4.5 sebagai berikut.

Tabel 4.5 Tingkatan Blistering pada Sampel Pengujian Permeabilitas

No	Ketebalan kering (Mikron)	Tegangan (V)	Rating	Jumlah
1	150	Tanpa ICCP	4	Few
		-0,85	6	Few
		-1,1	4	Few
		-1,3	2	Few
		-1,5	2	Medium Dense
2	200	Tanpa ICCP	4	Few
		-0,85	4	Few
		-1,1	4	Few
		-1,3	2	Few
		-1,5	2	Dense
3	250	Tanpa ICCP	6	Few
		-0,85	4	Few
		-1,1	4	Few
		-1,3	2	Few
		-1,5	2	Medium Dense
4	300	Tanpa ICCP	4	Few
		-0,85	4	Few
		-1,1	4	Few
		-1,3	2	Few
		-1,5	2	Medium Dense

Blister atau *osmotic blister* yang terjadi dari hasil pengujian permeabilitas dikarenakan air dengan partikel yang sangat kecil menembus lapisan *coating* dimana adanya kontaminan garam



baik dipermukaan membuat tekanan osmotik terus terjadi membuat terjadinya *blister*. Molekul air terlalu kecil dan memiliki kemampuan untuk penetrasi melalui semua jenis *organic compound*, molekul air melakukan penetrasi dengan melewati ruang intermolekular dari material organik dan dapat juga tetap tinggal disana sebagai absorbed state atau lewat melalui compound (ASCOATINDO, 2014). Beberapa faktor utama yang menyebabkan terjadinya *osmotic blistering* (1) Permeabilitas coating (2) Impermeabilitas coating (3) Konsentrasi air terlarut (4) konsentrasi gradient (Petrie, 2011). Epoksi memiliki sifat hidrofilik dimana membuat lapisan menjadi mudah bereaksi dengan air. Sifat hidrofilik yang dimiliki oleh lapisan epoksi ini dapat menurunkan kemampuannya dalam melindungi logam (shin, 2010).

Pada tegangan proteksi -1,5 volt terjadi tingkat *blister* yang paling besar dimana mencapai rating 2, hal ini karena ketika adanya *pinhole* pada lapisan coating yang dialiri arus yang semakin besar atau *overprotective* membuat air akan berpenetrasi lebih besar didaerah tersebut, karena adanya elektron yang dibanjiri pada daerah *pinhole* tersebut membuat tertariknya ion positif dilingkungannya agar stabil dimana ion positif pada fluida membuat fluida atau air masuk kedalam lapisan. Fenomena *electroendoosmosis* adalah proses masuknya fluida yang menembus suatu batas kapiler akibat dorongan atau paksaan ion-ion negatif (Berendsen, 1989).

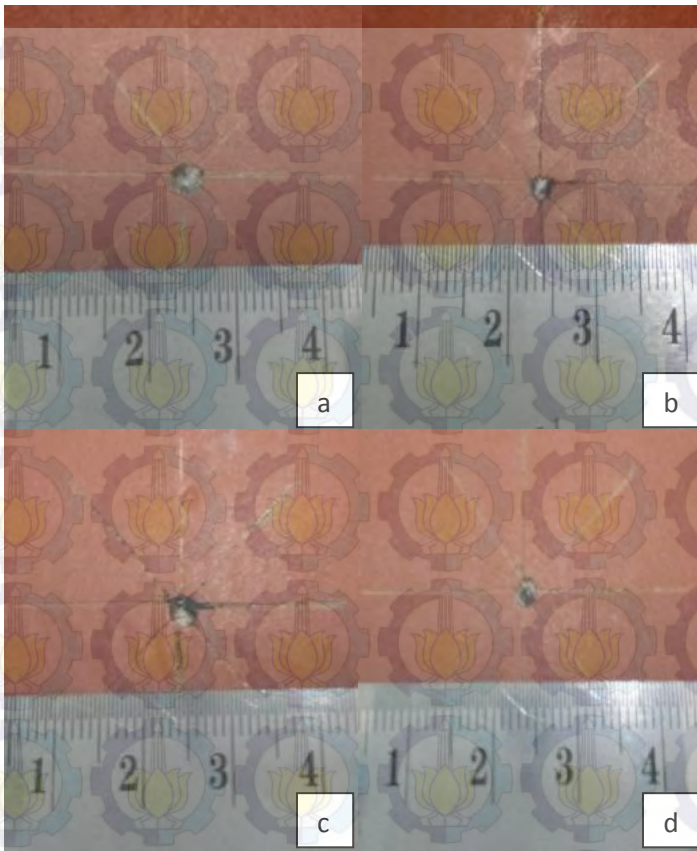
4.6 Pengujian Cathodic Disbonding

Pengujian *cathodic disbonding* dilakukan untuk melihat diameter disbonding yang terjadi pada lapisan coating terhadap tegangan proteksi dari sampel, dimana disini terdapat variasi tegangan proteksi mulai dari tanpa ICCP, -0,85V, -1,1V, -1,3V, -1,5V. Hasil pengujian *cathodic disbonding* ini dapat dilihat pada tabel 4.6 dan gambar 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 serta 4.22.



Tabel 4.6 Hasil Pengujian Cathodic Disbonding

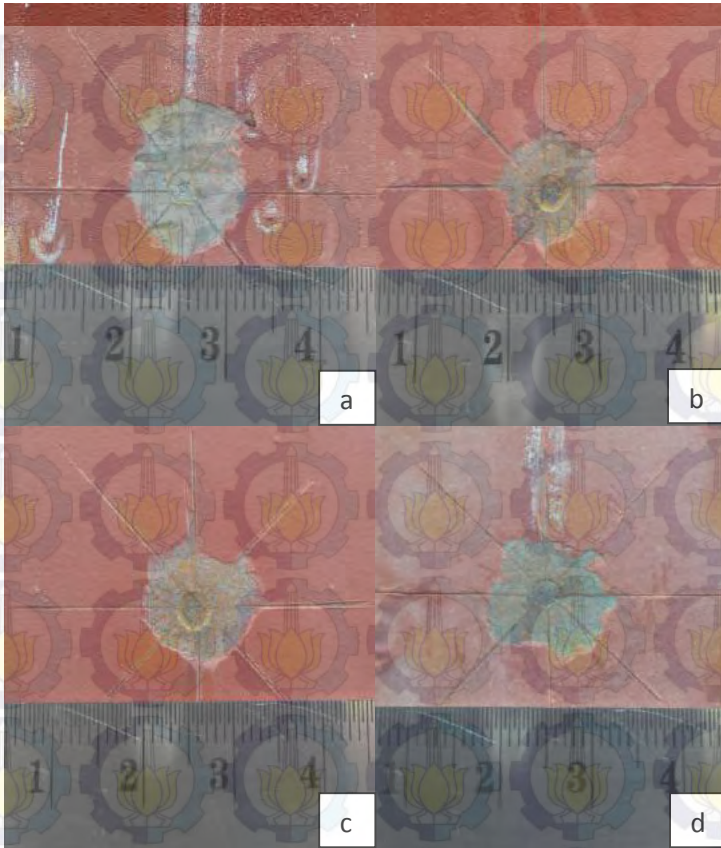
No	Tegangan (V)	Ketebalan Kering (Mikron)	pH Sebelum Pengujian	pH Setelah Pengujian	Diameter Disbonding (mm)
1	Tanpa ICCP	150	6,9	7	3,9
		200	6,9	7	3,3
		250	6,9	7	4,1
		300	6,9	7	3,7
2	-0,85	150	7,4	8,6	8,3
		200	7,4	8,5	11,6
		250	7,4	8,6	7,3
		300	7,3	8,5	10,3
3	-1,1	150	7,3	9	15
		200	7,3	9,4	12
		250	7	9	14,7
		300	7,2	9,2	15,7
4	-1,3	150	7,2	10,5	19,7
		200	7	10,1	20,3
		250	7	10,4	22
		300	7,1	10,1	25,3
5	-1,5	150	7,1	10,8	32
		200	7,2	11	27,6
		250	7,3	10,8	28,7
		300	7,1	11	29,3



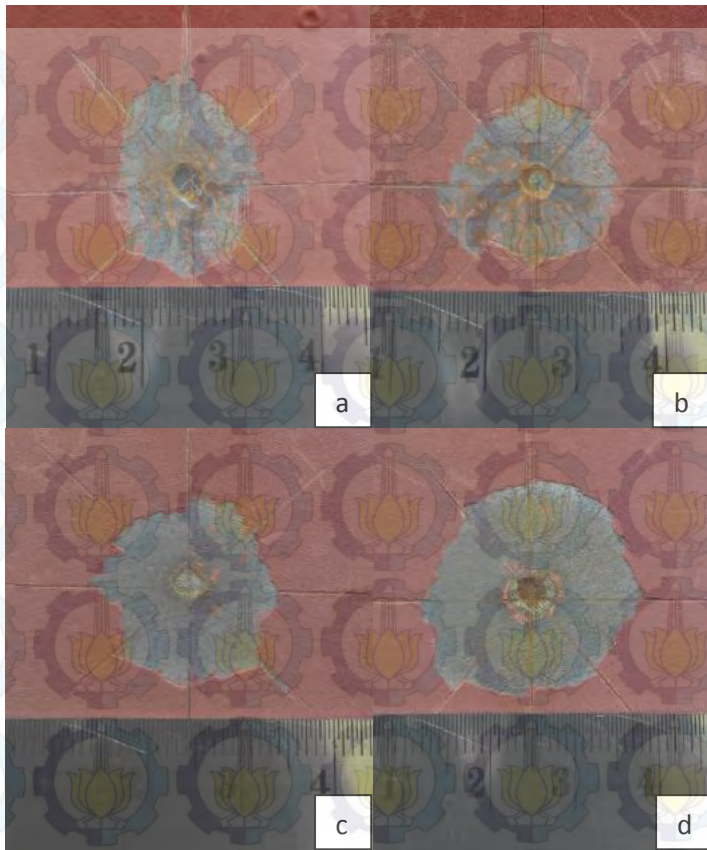
Gambar 4.18 Sampel Setelah Pengujian *Cathodic Disbonding* Selama 28 hari Tanpa ICCP (a) DFT 150 (b) DFT 200 (c) DFT 250 (d) DFT 300



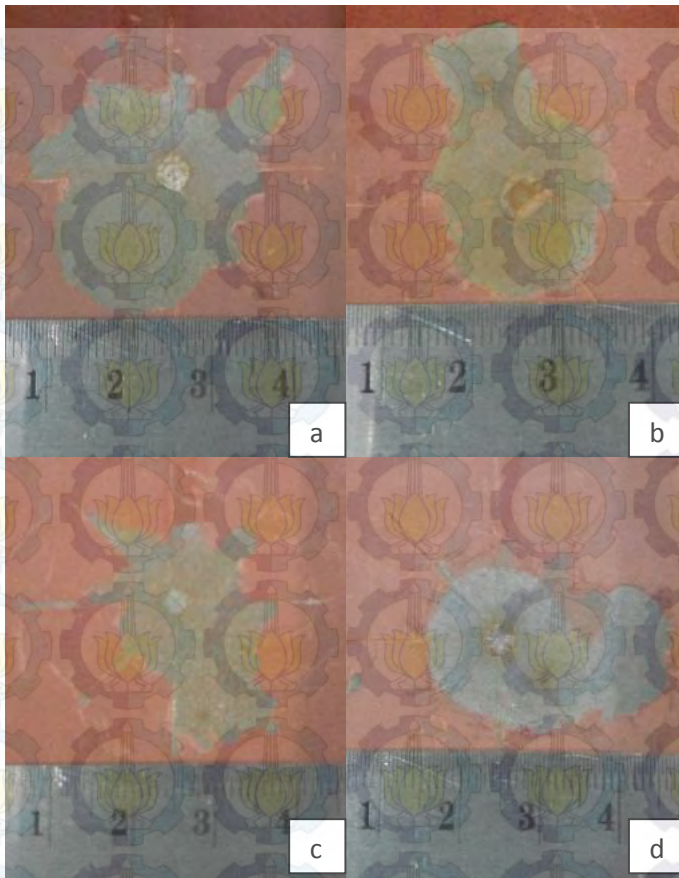
Gambar 4.19 Sampel Setelah Pengujian *Cathodic Disbonding* Selama 28 hari Tegangan Proteksi $-0,85V$ (a) DFT 150 (b) DFT 200 (c) DFT 250 (d) DFT 300



Gambar 4.20 Sampel Setelah Pengujian *Cathodic Disbonding* Selama 28 hari Tegangan Proteksi $-1,1V$ (a) DFT 150 (b) DFT 200 (c) DFT 250 (d) DFT 300



Gambar 4.21 Sampel Setelah Pengujian *Cathodic Disbonding* Selama 28 hari Tegangan Proteksi -1,3V (a) DFT 150 (b) DFT 200 (c) DFT 250 (d) DFT 300

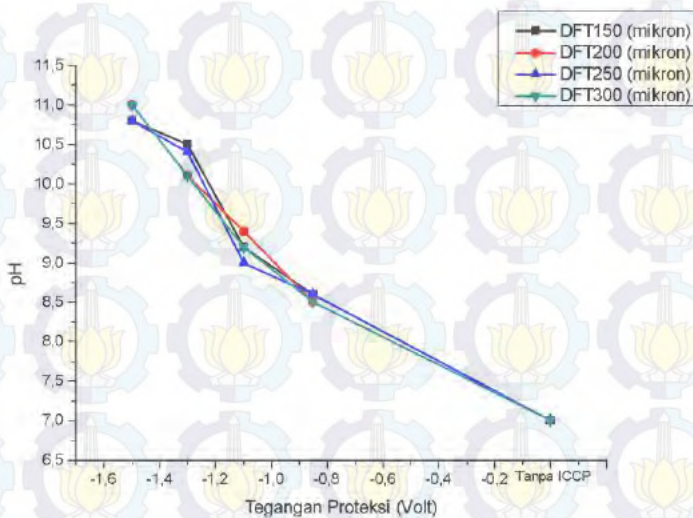


Gambar 4.22 Sampel Setelah Pengujian *Cathodic Disbonding* Selama 28 hari Tegangan Proteksi -1,5V (a) DFT 150 (b) DFT 200 (c) DFT 250 (d) DFT 300

Pengujian *cathodic disbonding* merupakan metode untuk menentukan karakteristik lapis lindung dari cat yang dirancang untuk berfungsi sebagai kombinasi proteksi katodik, pengujian ini

juga dikenal sebagai *Salt Crock Test*. Pengujian ini mengukur diameter disbonding lapisan *coating* yang disebabkan oleh adanya tegangan proteksi selama perlindungan bersama dengan perlindungan katodik.

Berdasarkan data pada tabel 4.6 didapatkan adanya kenaikan pH dari sebelum pengujian dengan setelah pengujian, kecuali untuk tegangan proteksi tanpa ICCP, dimana hampir tidak ada perubahan pH. Kenaikan pH tertinggi ada pada tegangan proteksi -1,5 volt, dimana pH mencapai 11. Hubungan Tegangan Proteksi dan ketebalan terhadap kenaikan pH dapat dilihat pada gambar 4.23 Grafik Hubungan Tegangan Proteksi dan Ketebalan Cat Terhadap pH Larutan.



Gambar 4.23 Grafik Hubungan Tegangan Proteksi dan Ketebalan Cat Terhadap pH Larutan

Terjadinya kenaikan pH larutan disebabkan reaksi katodik dibawah lapisan cat yang membentuk larutan dengan pH tinggi di

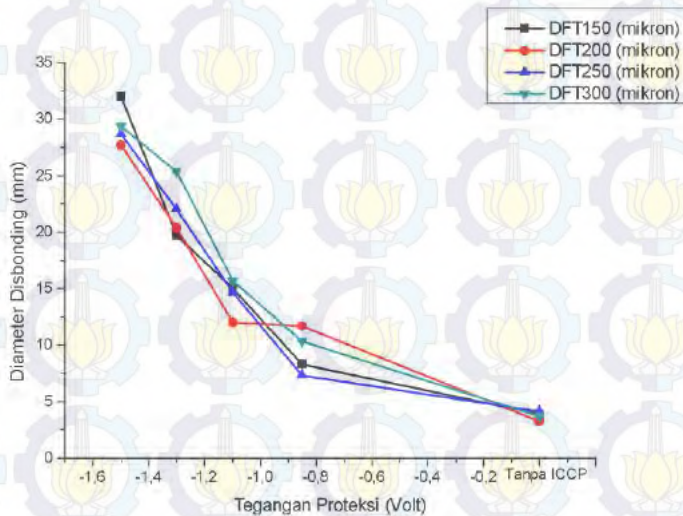


interfasa yang menjadi penyebab disbonding. Reaksi reduksi oksigen dan evolusi hydrogen adalah reaksi yang dominan terjadi dalam perubahan pH larutan. Reaksi reduksi oksigen dan evolusi hydrogen memiliki kecepatan yang sama pada *bare steel* dalam air laut pada saat dipolarisasi -1000mV Vs SCE, pada potensial tinggi yang mendominasi adalah reaksi evolusi hidrogen, sedangkan reaksi reduksi oksigen mendominasi pada potensial yang lebih kecil (Leidheiser, 1984).



Dengan voltase yang lebih kecil dimana dalam hal ini kurang dari -1,1 volt memang masih memproteksi baja tetapi akan membuat cat menjadi disbonding dari substrat, hal ini karena semakin banyaknya elektron yang diberikan kepada sampel, sehingga semakin besar juga ion positif yang tertarik dari elektrolit atau lingkungannya agar menjadi stabil. Reaksi reduksi oksigen memerlukan pasokan oksigen dan air, dan juga kation untuk menyeimbangkan muatan negatif hidroksida disisi produk reaksi (Watts, 1989). Lapisan cat biasanya cukup permeabel untuk oksigen dan air, oleh karena itu untuk sampel yang terpolarisasi katodik, para peneliti umumnya mengasumsikan bahwa transport oksigen, air, dan kation melalui lapisan cat. (Knudsen, 2008).

Seperti yang sudah disebutkan bahwa reaksi reduksi oksigen yang akan semakin mendominasi ketika tegangan proteksinya semakin kecil. Baja harus terpolarisasi dengan potensial lebih besar dari -1200 mV Vs SCE untuk mendapatkan evolusi hydrogen signifikan dibawah lapis lindung (Kamaland, 1998). Dengan semakin rendahnya tegangan proteksi maka reaksi reduksi oksigen akan meningkat dan mempengaruhi diameter disbonding seperti yang terdapat pada hasil pengujian pada data tabel 4.6 dan dapat dilihat pada gambar 4.24.



Gambar 4.24 Grafik Hubungan Tegangan Proteksi dan Ketebalan Cat Terhadap Diameter *Disbonding*

Dari data pada tabel 4.6 didapatkan bahwa semakin kecil tegangan proteksi yang diberikan semakin besar pula diameter disbonding yang terjadi. Nilai diameter disbonding terendah ada pada variabel tanpa ICCP dengan ketebalan cat 200 mikron yaitu sebesar 3,3 mm dan nilai diameter paling besar yaitu 32 mm pada tegangan proteksi -1,5 volt dengan ketebalan 150 mikron.

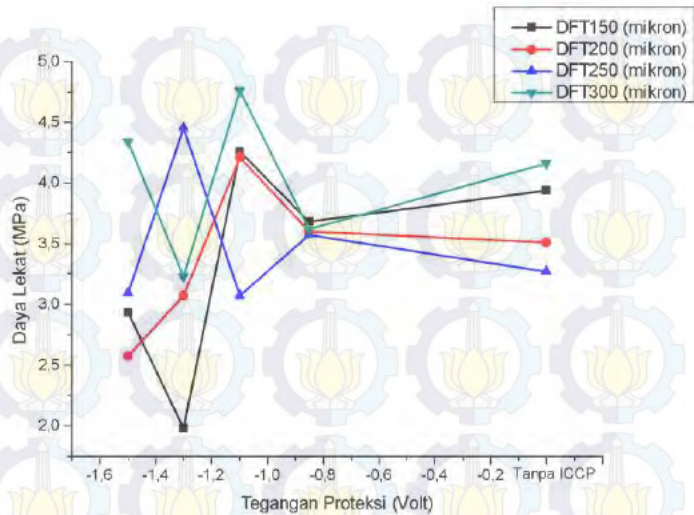


4.7 Pengujian Adhesi Pasca Pengujian Cathodic Disbonding

Setelah dilakukan pengujian *cathodic disbonding* dilakukan kembali pengujian *pull off test*, ditunjukkan pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Nilai Daya Lekat Setelah Pengujian Cathodic

No	Ketebalan Kering (Mikron)	Tegangan (V)	Disbonding		Keterangan	
			Nilai Daya Lekat (MPa)	Adhesive Failure(%)	Cohesive Failure(%)	
1	150	Tanpa ICCP	3,94	35,503	64,497	
		-0,85	3,68	39,355	60,645	
		-1,1	4,26	42,824	57,176	
		-1,3	1,98	54,009	45,991	
		-1,5	2,93	55,393	44,607	
2	200	Tanpa ICCP	3,51	26,155	73,845	
		-0,85	3,60	40,396	59,604	
		-1,1	4,21	35,700	64,300	
		-1,3	3,07	35,771	64,229	
		-1,5	2,57	40,673	59,327	
3	250	Tanpa ICCP	3,27	24,834	75,166	
		-0,85	3,57	26,468	73,532	
		-1,1	3,07	27,505	72,495	
		-1,3	4,45	32,581	67,419	
		-1,5	3,09	33,570	66,430	
4	300	Tanpa ICCP	4,16	12,646	87,354	
		-0,85	3,62	15,180	84,820	
		-1,1	4,76	23,757	76,243	
		-1,3	3,23	29,783	70,217	
		-1,5	4,34	32,405	67,595	

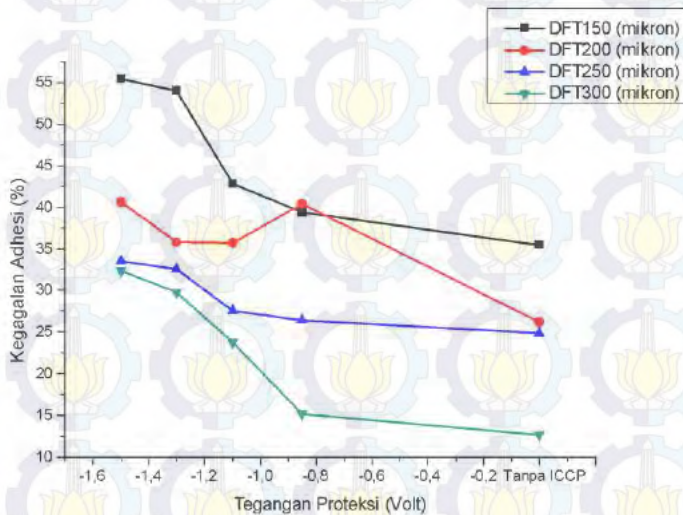


Gambar 4.25 Grafik Hubungan Tegangan Proteksi dan Ketebalan Cat Terhadap Kekuatan Adhesi

Dari hasil pengujian daya lekat pasca dilakukan pengujian *cathodic disbonding* didapatkan nilai daya lekat paling besar adalah 4,76 Mpa pada tegangan proteksi -1,1 volt dengan ketebalan 300 mikron, dan nilai daya lekat paling rendah ada pada tegangan proteksi -1,3 volt dengan ketebalan 150 mikron, tetapi nilai tersebut tidak dapat dikatan sebagai nilai kekuatan adhesi dari cat karena tidak sampai 90% cat tertarik dari substrat atau 90% *adhesive failure* terjadi karena berdasarkan *manual book pull off test* minimal terjadi 90%. *adhesive failure* Seperti yang telah dibahas pada sub bab 4.2 hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yang telah dijelaskan pada sub bab 4.2. Tetapi dari hasil pengujian ini didapatkan suatu tren bahwa semakin rendah nilai tegangan proteksi yang diberikan maka akan semakin besar prosentase kegagalan adhesi yang terjadi, dan semakin besar ketebalan pada cat maka semakin kecil prosentase adhesi dan



sebaliknya kegagalan kohesi menjadi lebih besar. Tren pengaruh tegangan proteksi dan ketebalan cat terhadap prosentase *adhesive failure* dapat dilihat pada gambar 4.26.



Gambar 4.26 Grafik Hubungan Tegangan Proteksi dan Ketebalan Cat Terhadap Prosentase *Adhesive Failure*



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa hasil pengujian, maka dapat diambil suatu kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Semakin kecil tegangan proteksi yang diberikan membuat sifat permeabilitas dari cat semakin tinggi dimana membuat terjadinya cacat blister yang semakin besar dan semakin banyak pada cat dengan tingkat blister paling tinggi terjadi pada tegangan proteksi -1,5 volt dan pada ketebalan 200 mikron dengan rating 2 dan jumlah *dense*.
2. Semakin kecil tegangan proteksi maka diameter disbonding yang terjadi semakin besar, dengan nilai disbonding paling besar terjadi pada tegangan proteksi -1,5 volt pada ketebalan 150 mikron dengan diameter disbonding sebesar 32 mm.
3. Hasil pengujian kekuatan adhesi ini tidak dapat dikatakan sebagai nilai kekuatan adhesi karena tidak sampai 90% cat terlepas dari permukaan substrat, tetapi dapat dilihat prosentasi kegagalan adhesi dan kohesi dari cat, dimana semakin besar ketebalan cat maka *adhesive failure* yang terjadi semakin kecil dan semakin rendah tegangan proteksi yang diberikan membuat *adhesive failure* yang terjadi menjadi semakin besar, dengan nilai prosentase *adhesive failure* yang terbesar ada pada tegangan proteksi -1,5 volt dengan ketebalan 150 mikron yaitu 55,393%, dan prosentase *adhesive failure* paling rendah ada pada tegangan proteksi tanpa arus dengan ketebalan 300 mikron yaitu 12,646%.



4. Variasi ketebalan tidak memberikan pengaruh terhadap tingkat permeabilitas dan nilai diameter disbonding.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya pengujian SEM untuk melihat ikatan antara substrat dengan cat dengan lebih jelas serta melihat ada tidaknya poros pada cat untuk lebih menganalisa ikatan pada cat dengan kekuatan daya lekat.
2. Pengujian nilai kekuatan adhesi dilakukan dengan durasi waktu yang sama setiap sampel dari waktu penempelan dolly dengan sampel.
3. Dilakukan pengecekan yang rutin pada pengujian cathodic disbonding agar voltase yang diberikan tetap stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. 2005. "*API 5 L : Specification for Line Pipe*". Washington D. C. : API Publishing Service.
- American Society for Testing and Materials. 1992. "*ASTM D1654 : Standard Practices for Testing Water Resistance of Coatings Using Water Immersion*". Washington DC : Author.
- American Society for Testing and Materials. 1997. "*ASTM D870 : Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments*". Washington DC : Author.
- American Society for Testing and Materials. 2002. "*ASTM D4541 : Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Potable Adhesion Testers*". Washington DC : Author.
- American Society for Testing and Materials. 2002. "*ASTM D714 :Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints*". Washington DC : Author.
- American Society for Testing and Materials. 2003. "*ASTM B117 : Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*". Washington DC : Author.
- American Society for Testing and Materials. 2003. "*ASTM G8 : Standard Test Method for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings*". Washington DC : Author.
- ASCOATINDO. 2014. "*Coating Inspector Muda*". Bandung : Corrosion Care Indonesia.
- Bayliss, D. A. and Deacon. 2009. "*Steelwork Corrosion Control*". London : Spon Press.
- Berendsen, A.M. 1989. "*Marine Painting Manual*". London : Graham & trotman.
- Drisko, Richard W. and James F. Jenkins. 1998. "*Corrosion and Coatings : an introduction to corrosion for coatings personnel*". Pittsburgh : SSPC.

- Fontana, Mars G. 1987. *"Corrosion Engineering"*. Singapura : B&Jo Enterprise Pte Ltd.
- Forsgren , Amy. 2006. *"Corrosion Control Through Organic Coatings"*. US : Taylor & Francis Group
- International Organization for Standarization. 2007. *"ISO 2808: Paints and Vanishes-Determination of Film Thickness"*. Switzerland : Author
- Jones, L. W. 1992. *"Corrosion and Water Technology for Water Producers"*. Tursa : OGCL Piblications, Oil and Gas Consultant Intenational Inc.
- Kamaland, N. 1998. *"Role of Hydrogen and Hydroxly Ion in Cathodic Disbondment"*. Houston : NACE Vol.45
- Kenneth R. 1991. *"Corrosion, for Students of Science and Engineering"*. Jakarta : PT Gramedia Putra Utama.
- Knudsen, O. O. 2008. *"Cathodic Disbonding of Epoxy Coatings-Effect of Test"*. Houston : Nace Vol. 06403.
- Kruit, D. M. 2001. *"Selecting The Right Temporary Coating : Choices Abound for Tube and Pipe Aplications"*. US : TPJ-The Tube & Pipe Journal.
- Leidheiser H., W.Wong L.1989. "Progress in Organic Coating". EFC Vol.11
- NACE CIP Commitee. 2012. *"Coating Inspector Program Level 1 Student Manual"*. US. Author.
- Peabody, A. W. 2001. *"Control of Pipeline Corrosion"*. Texas : NACE International the Corrosion Society.
- Perez, Nester. 2004. *"Electrochemistry and Corrosion Science"*. Massachusetts : Kluwer Academic Publisher.
- Roberge, Pierre R. 2008. *"Corrosion Engineering-Principles and Practices"*. Houston : McGraw-Hill.
- Roberge, Pierre R. 2000. *"Handbook of Corrosion EGINEERING"*. The United States of America : McGraw-Hill Companies Inc.

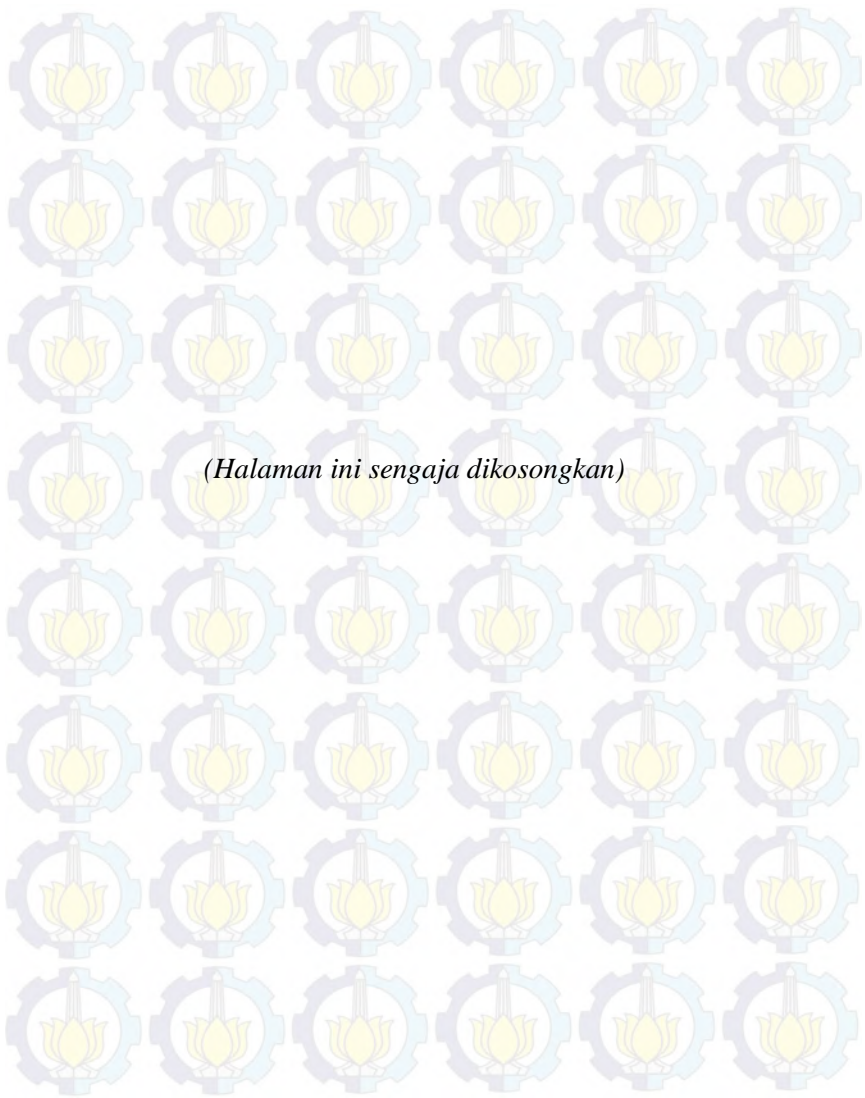
Shin, Anseor & Shan Ming Young. 2010. *“Effects of Coating Thickness and Surface Treatment on the Corrosion Protection of Diglycidyl Ether Bisphenol A Based Epoxy Coated carbon Steel”*

Shrein, L. L. 1993. *“Corrosion Vol. 2 Corrosion Control”*. Great Britain Butterworth-Heineman.

T. Nguyen, J. W. 1996. *“Modes and Mechanism of Degradation of Epoxy Coated Reinforcing Steel in Marine”*. Stockholm : Seven International Conference on Durability of Building Materials and Components.

Watts, J. F. 1989. *“Journal of Adhesion”*. Boston : ASM, Vol.31

Wicks Jr. Z. W, Joes F. N. Pappas S. P. and Wicks D. A. 2007. *“Organic Coatings Science and Technology”*. US : John Wiley & Sons Inc.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A

1. Skema Aplikasi Coating



1) Preparasi Spesimen

- Spesimen yang digunakan adalah Pipa API 5 L yang telah di Roll menjadi plat dan di potong menjadi ukuran 100x50x4 mm berjumlah 60 buah.
- Setelah sesuai ukuran dilakukan pengeboran pada ujung atas dengan diameter 3mm untuk memasukan kabel yang nantinya dirangkai dengan ICCP
- Setelah kabel dikaitkan lubang ditutup kembali dengan megunakan *glue gun*

2) Pra-Persiapan Permukaan (*Abrasive Blasting*)

➤ *Blotter Test*

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui apakah angin kompresor yang digunakan mengandung minyak ataupun air. Standar yang digunakan sesuai ASTM D4285 “*Standard Test Method for Indicating Oil or Water in Compressed Air*”. Prosedurnya dengan menyemprotkan angin kompresor ke suatu kain putih dengan jarak sedekat mungkin selama satu menit. Jika

terdapat indikasi adanya minyak atau air, angin kompresor tidak dapat digunakan.

➤ *Vial Test*

Pengujian yang dilakukan untuk mengecek kebersihan dari abrasif yang digunakan. Prosedur pengujian sesuai ASTM D4940 “Standard Test Method for Conductimetric Analysis of Water Soluble Ionic Contamination of Blasting Abrasives”. Dengan mengaduk campuran partikel abrasif dengan air suling, dengan rasio perbandingan 1:2. Setelah pengadukan dilakukan, cek apakah terdapat kotoran, debu, ataupun *clay*.

3) Persiapan Permukaan

➤ Sebelum dilakukan pembersihan permukaan dengan *Abrasive Blasting* sebelumnya dilakukan pembersihan permukaan dengan *Solvent Cleaning* sesuai standar SSPC-SP1 untuk menghilangkan *grease* atau *oil* karena tidak bisa dihilangkan dengan *blasting*.

➤ *Abrasive Blasting* dilakukan sesuai standar tingkat kebersihan SSPC-SP10 atau Sa2 ½ (ISO 8501-1:1988) “*Very thorough Blast Cleaning*”.

4) Pasca Persiapan Permukaan

➤ Pengamatan Visual

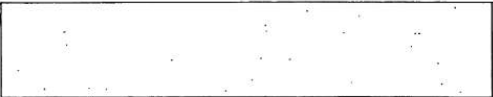


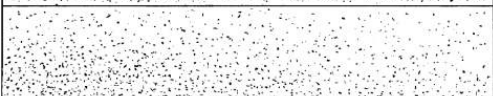

Pengamatan visual dilakukan untuk mengecek bahwa kebersihan permukaan sampel setelah *blasting* sesuai atau tidak dengan standar yang diinginkan, inspeksi visual dengan menggunakan standar ISO 8501 “*Visual Assessment of Surface Cleanliness*”

➤ Pengukuran Kekasaran Permukaan

Prosedur pengukuran kekasaran permukaan dilakukan sesuai NACE RP0287 “*Field Measurement of Surface Profile of Abrasive Blast-Cleaned Steel Surfaces Using a Replica Tape*”. Pengukuran kekasaran dilakukan dengan menggunakan sebuah *tape* yang ditempelkan pada permukaan. *Tape* kemudian ditekan dengan menggunakan suatu objek yang bundar hingga *tape* berubah warna menjadi abu-abu secara merata. Angkat *tape* dari permukaan dan ukur ketebalan *tape* menggunakan *anvil micrometer*. Nilai ketebalan yang didapatkan dari *anvil micrometer* dikurangi 50 μm karena itu merupakan ketebalan *foam plastic* yang menempel pada *tape*.

➤ Dust Level

Pengecekan jumlah debu pada permukaan mengacu pada ISO 8502-3 “*Preparation of Steel Substrate Before Application of Paints and related products - Tests for the Assessment of Surface Cleanliness*”. Pada standar ini terdapat gambar perbandingan jumlah debu yang terbagi menjadi lima tingkatan. Pengecekan dengan cara menempelkan *adhesive tape* ke permukaan. *Tape* ditekan perlahan agar menempel dengan baik di permukaan. *Tape* dilepas dan ditempelkan pada benda dengan warna berbeda dari *adhesive tape*.

	1
	2
	3
	4
	5

Tingkatan Jumlah Debu (ISO 8502-3)

5) Pra-Aplikasi Coating

➤ Pengecekan kondisi lingkungan

Dilakukan sebelum aplikasi pelapisan permukaan. Temperatur tidak lebih tinggi dari 3°C dari *dew point* dan *relative humidity* tidak boleh lebih dari 85%. *Dew point* adalah temperatur dimana kelembaban mulai terbentuk pada permukaan baja. Sedangkan, *relative humidity* adalah rasio perbandingan antara jumlah porsen uap air dibandingkan dengan jumlah air yang jenuh pada temperatur tertentu. Nilai dew point dan relative humidity akan didapatkan pada tabel dibawah.

Tabel Perhitungan Dew point dan Relative Humidity

Chart for Calculation of Relative Humidity and Dew Point										
Dry-Bulb Temp. (°C)	Depression of Wet-Bulb Temperature (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	86/3	72/0	58/-	45/-						
6	86/4	73/1	60/-	47/-						
7	87/5	74/3	61/0	49/-						
8	87/6	75/4	63/1	51/-						
9	88/7	76/5	64/3	53/0						
10	88/8	77/6	65/4	54/1	44/-					
11	88/9	77/7	66/5	56/3	46/-	36/-				
12	89/10	78/8	68/6	57/4	48/1	37/-				
13	89/11	79/9	69/7	59/5	49/3	39/0				
14	90/12	79/10	70/8	60/6	51/4	41/1	37/-			
15	90/14	80/12	71/10	62/8	53/5	43/3	45/0			
16	90/14	81/13	71/11	62/9	54/7	46/4	48/2			
17	90/15	81/14	72/12	64/10	55/8	47/5	49/3	32/0		
18	91/16	82/15	73/13	65/11	56/9	49/7	41/5	34/2		
19	91/17	82/16	74/14	65/12	58/10	50/8	43/6	35/3	28/0	
20	91/18	83/17	74/15	66/13	59/12	51/10	44/7	45/5	40/2	
21	91/19	83/18	75/16	67/15	60/13	52/11	46/9	45/6	42/4	
22	92/21	83/19	76/17	68/16	61/14	54/12	47/10	46/8	43/6	
23	92/22	84/20	76/19	69/17	62/15	55/13	48/11	47/9	46/7	
24	92/23	84/21	77/20	69/18	62/16	56/15	49/13	48/11	47/10	
25	93/24	84/22	77/21	70/19	63/17	57/16	50/14	49/12	48/10	43/8
26	93/25	85/23	78/22	71/20	64/18	58/17	51/15	49/13	49/11	45/9
27	93/26	85/24	78/23	71/21	65/20	59/18	52/16	47/15	41/13	46/11
28	93/27	85/25	79/24	72/22	65/21	59/19	53/18	48/16	42/14	47/12
29	93/28	86/26	79/25	72/23	66/22	60/20	55/19	49/17	43/15	48/13
30	93/29	86/27	79/26	73/25	67/23	61/22	56/20	50/18	44/17	49/14
31	93/30	86/28	80/27	73/26	67/24	62/23	57/21	51/20	45/18	50/15
32	93/31	86/29	80/28	74/27	68/25	62/24	57/22	52/21	46/19	51/16
33	93/32	87/30	80/29	74/28	69/26	63/25	58/23	52/22	47/20	52/17
34	93/33	87/31	81/30	75/29	69/27	64/26	58/25	53/23	48/21	53/18
35	93/34	87/32	81/31	75/30	70/30	65/28	60/27	55/24	50/23	54/19
36	94/35	87/33	81/32	76/31	70/30	65/28	60/27	55/25	51/24	55/20
37	94/36	87/35	82/33	76/32	70/31	65/29	60/28	55/26	51/25	56/21
38	94/37	88/36	82/34	76/33	71/32	66/30	61/29	56/28	52/27	57/22
39	94/38	88/37	82/35	77/34	72/33	66/31	61/30	57/29	53/28	58/23
40	94/39	88/38	82/36	77/35	72/34	67/33	62/31	57/30	53/28	58/24

Note: For any pair of figures, the first is relative humidity (%) and the second is dew point temperature (°C).

Sebelum menggunakan tabel diatas, pertama harus mengukur *dry-bulb temperature* dan *wet-bulb temperature* dengan menggunakan *sling psychrometer*. Penggunaannya sesuai ASTM E337 “*Standard Test Methode for Measuring humidity with a Psycrometer (the Measurement of Wet and Dry-Bulb Temperatures)*”. *Dry-bulb temperature* sendiri menunjukkan temperatur udara sesungguhnya sedangkan *wet-bulb temperature* menunjukkan temperatur yang lebih rendah dari temperatur udara sebenarnya karena kehilangan kalor laten. Pengukuran kedua temperatur tersebut dilakukan dengan cara memutar *sling psychrometer* selama 40 detik secara cepat dimana sebelumnya membasahi thermometer *wet-bulb temperature* dengan air terlebih dahulu. Lakukan pembacaan di *sling psychrometer* dan ulangi putaran hingga temperatur stabil.

Dari tabel dapat dilihat bahwa untuk mendapatkan nilai *dew point* dan *relative humidity* harus menghubungkan nilai *dry-bulb temperature* dan *depression of wet-bulb temperature*, dimana nilai *depression of wet-bulb temperature* adalah hasil pengurangan dari *dry-bulb temperature* dan *wet-bulb temperature*.

➤ Pengecekan temperatur sampel

Pengukuran menggunakan *magnetic surface contact thermometer*. Dilakukan dengan menempelkan termometer ke permukaan sampel, dengan termometer bersifat magnetik. Pembacaan temperatur dilakukan sekitar 2-3 menit setelah penempelan termometer ke permukaan sampel, saat termometer telah stabil.

6) *Aplikasi Coating*

Mixing ratio (volume) untuk jenis cat yang digunakan adalah 4:1, 4 bagian Penguard Primer komponen A

dicampurkan dengan 1 bagian penguard komponen B. Jumlah sampel yang dilakukan aplikasi pelapisan permukaan ada 60 buah dengan rincian :

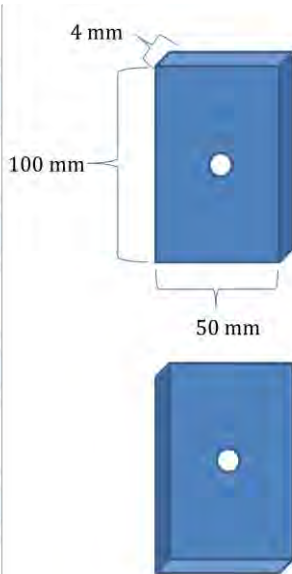
➤ 32 buah sampel dilakukan *full coat* seluruhnya dilapisi dengan lapisan cat *epoxy*, rincian :

- 8 buah sampel dengan DFT 150 mikron
- 8 buah sampel dengan DFT 200 mikron
- 8 buah sampel dengan DFT 250 mikron
- 8 buah sampel dengan DFT 300 mikron

➤ 28 sampel diberikan cacat buatan sejumlah 3 buah pada setiap sampel dengan diameter 3mm, rincian :

- 7 buah sampel dengan DFT 150 mikron
- 7 buah sampel dengan DFT 200 mikron
- 7 buah sampel dengan DFT 250 mikron
- 7 buah sampel dengan DFT 300 mikron

Cacat pada sampel :

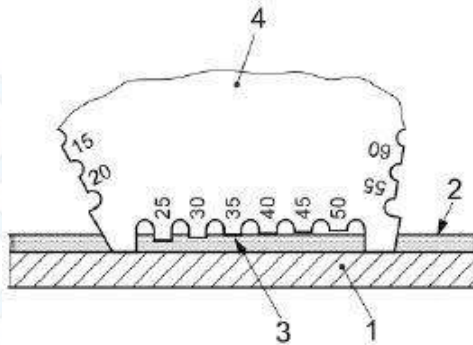


Cacat buatan dengan diameter 3mm (ASTM G8)
Cacat buatan yang sudah dibuat,
diisolasi terlebih dahulu agar tidak bereaksi
dengan udara membentuk korosi

7) Pasca Aplikasi Coating

➤ Pengukuran WFT (*Wet Film Thickness*)

Pengukuran ketebalan basah dilakukan setelah aplikasi pengecatan dimana cat masih basah, mengacu pada ISO 2808 "*Paints and Varnishes-Determination of Film Thickness*". Pengukuran dilakukan dengan *comb gauge*, dimana nilai ketebalan basah adalah bagian *comb gauge* yang terkena cat.



Dimana :

1. Permukaan Sampel
2. Lapisan Cat
3. Titik kontak basah (*Wetting contact*)
4. *Comb Gauge*

➤ Pengukuran DFT (*Dry Film Thickness*)

Pengukuran ketebalan kering menggunakan *electronic gauge* sesuai standar SSPC-PA 2 “*Procedure for Determining Conformance to Dry Coating Thickness Requirements*”. Sebelumnya dilakukan kalibrasi pada *electronic gauge*, kemudian tempelkan *electronic gauge* pada lapisan cat yang sudah kering. Nilai ketebalan cat akan muncul pada *electronic gauge*. Pengukuran dilakukan pada 5 titik yang berbeda, dimana setiap titik dilakukan tiga kali pembacaan, nilai ketebalan yang didapatkan kemudian dirata-rata.

➤ Holiday Test

Dilakukan untuk mengetahui adanya cacat atau diskontinuitas pada lapisan seperti *pinhole*, *fisheye*, *cratering*, dan *nick*. Mengacu pada standar NACE RP

0188 “*Discontinuity (holiday) testing of new protective coating on conductive substrate*” terdapat dua macam yaitu *Low* dan *High Voltage Holiday*, dan yang digunakan adalah *Low Voltage Holiday*, karena ketebalan lapisan kurang dari 500 μm . Uji dilakukan ketika cat telah melalui setengah proses *curing*, agar saat terdapat diskontinuitas lapisan dapat langsung diperbaiki.

➤ Adhesion Test

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kekuatan ikatan adhesi lapisan cat. Metode yang digunakan adalah pull-off test dengan standar ASTM D4541 “*Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portables Adhesion Testers*”. Pengujian dilakukan dengan cara menempelkan sebuah beban tetap yang tegak lurus terhadap lapisan permukaan yang biasa disebut dengan *dolly*. Sebelum pengujian, dipastikan bahwa lapisan bersih dari kontaminan dan dilakukan pengamplasan di daerah yang akan ditempel dengan *dolly*. *Dolly* ditempel dengan menggunakan campuran adhesif yaitu dua komponen epoksi, setelah ditempel, pengujian tidak langsung dilakukan tetapi menunggu hingga campuran adhesif mengalami *curing* seluruhnya. Pengujian dilakukan setelah 48 jam dari penempelan *dolly*. Nilai yang didapatkan dalam satuan Mpa

2. Kebutuhan dan Kondisi dalam Aplikasi Coating

- 1) Surface Preparation Required : Dry Abrasive blasting
- 2) Degree of Blasting : Sa $2\frac{1}{2}$
- 3) Relative Humidity : 83%
- 4) Dew Point : 28°C
- 5) Steel Temperatur : 32°C
- 6) Abrasive type : Aluminium Oxide
- 7) Mesh : 24 mesh
- 8) Dust Level : Level 3
- 9) Paint : Epoksi PenguardPrimer

3. Technical Data Sheet Epoxy Penguard Primer

Technical Data Penguard Primer



Product description

Penguard Primer is a two-pack epoxy primer based on epoxy resin with high molecular weight. This product is a part of a complete system which is certified not to spread surface flames.

Recommended use

As a primer in a coating system for corrosion protection of steel and other substrates. Penguard Primer is also recommended for internal lining for friction reduction in gas transmitting pipelines as per API SL2. Please contact Jotun for specific recommendations.

Film thickness and spreading rate

	Minimum	Maximum	Typical
Film thickness, dry (µm)	40	60	50
Film thickness, wet (µm)	80	120	100
Theoretical spreading rate (m ² /l)	12,8	8,5	10,2

Approvals

API SL2 by Egyptian National Research Centre NRC.

Physical properties

Colour	Grey, Red
Solids (vol %)*	51 ± 2
Flash point	25°C ± 2 (Setflash)
VOC	420 gms/ltr UK-PO6/23(97), Appendix 3
Gloss	Flat
Water resistance	Very good
Abrasion resistance	Very good
Solvent resistance	Excellent
Chemical resistance	Excellent
Flexibility	Good

*Measured according to ISO 3233:1998 (E)

Hong Kong rules: Category of paints - Tank lining coatings; VOC 440 gms/ltr HK EPD method (Ready to use); Exempt compound - N/A; Specific gravity: 1.24 kg/ltr (A+B); Both VOC and Specific gravity values provided are typical values, subject to changes when different colour involved.

Surface preparation

All surfaces should be clean, dry and free from contamination. The surface should be assessed and treated in accordance with ISO 8504.

Bare steel

Cleanliness: Blast cleaning to Sa 2½ (ISO 8501-1:2007). Roughness: using abrasives suitable to achieve grade Fine to Medium G (30-85 µm, Ry5) (ISO 8503-2).

Shopprimed steel

Clean, dry and undamaged approved shopprimer.

Coated surfaces

Clean, dry and undamaged compatible primer. Please contact your local Jotun office for more information.

Other surfaces

For aluminium and galvanised surface; degreasing, light abrading or sweep blasting. For stainless steel; light abrading or sweep blasting using chloride free, non-metallic abrasive.

The coating may be used on other substrates. Please contact your local Jotun office for more information.

Condition during application

The temperature of the substrate should be minimum 10°C and at least 3°C above the dew point of the air, temperature and relative humidity measured in the vicinity of the substrate. Good ventilation is usually required in confined areas to ensure proper drying. The coating should not be exposed to oil, chemicals or mechanical stress until cured. If necessary, Penguard Stayer, Penguard Primer, Penguard HB, Penguard Special may be used down to 2°C, provided a special accelerator is added.

Application methods

Spray	Use airless spray
Brush	Recommended for stripe coating and small areas, care must be taken to achieve the specified dry film thickness.

Application data

Mixing ratio (volume)	4:1
Mixing	4 parts Penguard Primer Comp. A (base) to be mixed thoroughly with 1 part Penguard, Comp. B (curing agent).
Induction time	30 minutes.
Pot life (23°C)	8 hours. (Reduced at higher temp.)
Thinner/Cleaner	Jotun Thinner No. 17. Do not use thinner when applied in potable water tanks.
Guiding data airless spray	
Pressure at nozzle	15 MPa (150 kg/cm², 2100 psi)
Nozzle tip	0.46 - 0.58 mm (0.018-0.023")
Spray angle	40 - 80°
Filter	Check to ensure that filters are clean.

Drying time

Drying times are generally related to air circulation, temperature, film thickness and number of coats, and will be affected correspondingly. The figures given in the table are typical with:

- ¹ Good ventilation (Outdoor exposure or free circulation of air)
- ² Typical film thickness
- ³ One coat on top of inert substrate

Substrate temperature	10°C	23°C	40°C
Surface dry	2 h	1 h	0.5 h
Through dry	14 h	6.5 h	3 h
Cured	14 d	7 d	3 d
Dry to recoat, minimum ¹	8 h	4 h	3 h
Dry to recoat, maximum ¹			

1. Provided the surface is free from chalking and other contamination prior to application, there is normally no overcoating time limit. Best intercoat adhesion occurs, however, when the subsequent coat is applied before preceding coat has cured. If the coating has been exposed to direct sunlight for some time, special attention must be paid to surface cleaning and mottling/removal of the surface layer in order to obtain good adhesion.

The given data must be considered as guidelines only. The actual drying time/times before recoating may be shorter or longer, depending on film thickness, ventilation, humidity, underlying paint system, requirement for early handling and mechanical strength etc. A complete system can be described on a system sheet, where all parameters and special conditions could be included.

Typical paint system

Penguard Primer	1 x 60 µm	(Dry Film Thickness)
Penguard HB	1 x 100 µm	(Dry Film Thickness)
Penguard Topcoat	1 x 50 µm	(Dry Film Thickness)

Other systems may be specified, depending on area of use

Storage

The product must be stored in accordance with national regulations. Storage conditions are to keep the containers in a dry, cool, well ventilated space and away from source of heat and ignition. Containers must be kept tightly closed.

Handling

Handle with care. Stir well before use.

Packing size

20 litre unit: 16 litres Penguard Primer Comp. A (base) in a 20 litre container and 4 litres Penguard, Comp. B (curing agent) in a 5 litre container
5 litre unit: 4 litres Penguard Primer Comp. A (base) in a 5 litre container and 1 litre Penguard, Comp. B (curing agent) in a 1 litre container

Health and safety

Please observe the precautionary notices displayed on the container. Use under well ventilated conditions. Do not breathe or inhale mist. Avoid skin contact. Spillage on the skin should immediately be removed with suitable cleanser, soap and water. Eyes should be well flushed with water and medical attention sought immediately.

For detailed information on the health and safety hazards and precautions for use of this product, we refer to the Material Safety Data Sheet.

DISCLAIMER

The information in this data sheet is given to the best of our knowledge based on laboratory testing and practical experience. However, as the product can be used under conditions beyond our control, we can only guarantee the quality of the product itself. We also reserve the right to change the given data without notice. Minor product variations may be implemented in order to comply with local requirements. If there is any inconsistency in the text the English (UK) version will prevail.

Jotun is a World Wide company with factories, sales offices and stocks in more than 50 countries. For your nearest local Jotun address please contact the nearest regional office or visit our website at www.jotun.com

ISSUED 26 NOVEMBER 2010 BY JOTUN
THIS DATA SHEET SUPERSEDES THOSE PREVIOUSLY ISSUED



LAMPIRAN B

1. Pembuatan Larutan NaCl 3,5%

Diketahui :

Massa Pelarut : 1000 mL

Ditanya : Massa NaCl yang dilarutkan ?

Jawab :

$$\begin{aligned}\rho_{campuran} &= \rho_{air} + \rho_{NaCl} \\ &= (0.965 \text{ g/mL} \times 96.5\%) + (2.165 \text{ g/mL} \times 3.5\%) \end{aligned}$$

$$\rho = 1.007 \text{ g/mL}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \times V$$

$$\begin{aligned}m &= 1.007 \text{ g/mL} \times 1000 \text{ mL} \\ m &= 1007 \text{ gram} \end{aligned}$$

Maka massa NaCl yang dilarutkan adalah

$$\frac{3.5}{100} \times 1007 \text{ gr} = 35.24 \text{ gram}$$

2. Perhitungan Kebutuhan Ketebalan Film Basah-Wet Film Thickness (WFT)

Diketahui :

Percent Solids by Volume : 51%

Percent Added thinner : 10%

Dry Film Thickness : 150, 200, 250, dan 300 μm

Ditanya :

Kebutuhan Wet Film Thickness untuk masing-masing Dry Film Thickness ?

Jawab :

a. Dry Film Thickness 150 μm

$$WFT = \frac{DFT \times (100 + \text{percent added thinner})}{\text{Percent Solids by Volume}}$$

$$WFT = \frac{150 \times (100 + 10)}{51}$$

$$WFT = \frac{16500}{51}$$

$$WFT = 323,53 \mu\text{m}$$

b. Dry Film Thickness 200 μm

$$WFT = \frac{DFT \times (100 + \text{percent added thinner})}{\text{Percent Solids by Volume}}$$

$$WFT = \frac{200 \times (100 + 10)}{51}$$

$$WFT = \frac{22000}{51}$$

$$WFT = 431,37$$

c. Dry Film Thickness 250 μm

$$WFT = \frac{DFT \times (100 + \text{percent added thinner})}{\text{Percent Solids by Volume}}$$

$$WFT = \frac{250 \times (100 + 10)}{51}$$

$$WFT = \frac{27500}{51}$$

$$WFT = 539,22$$

d. Dry Film Thickness 300 μm

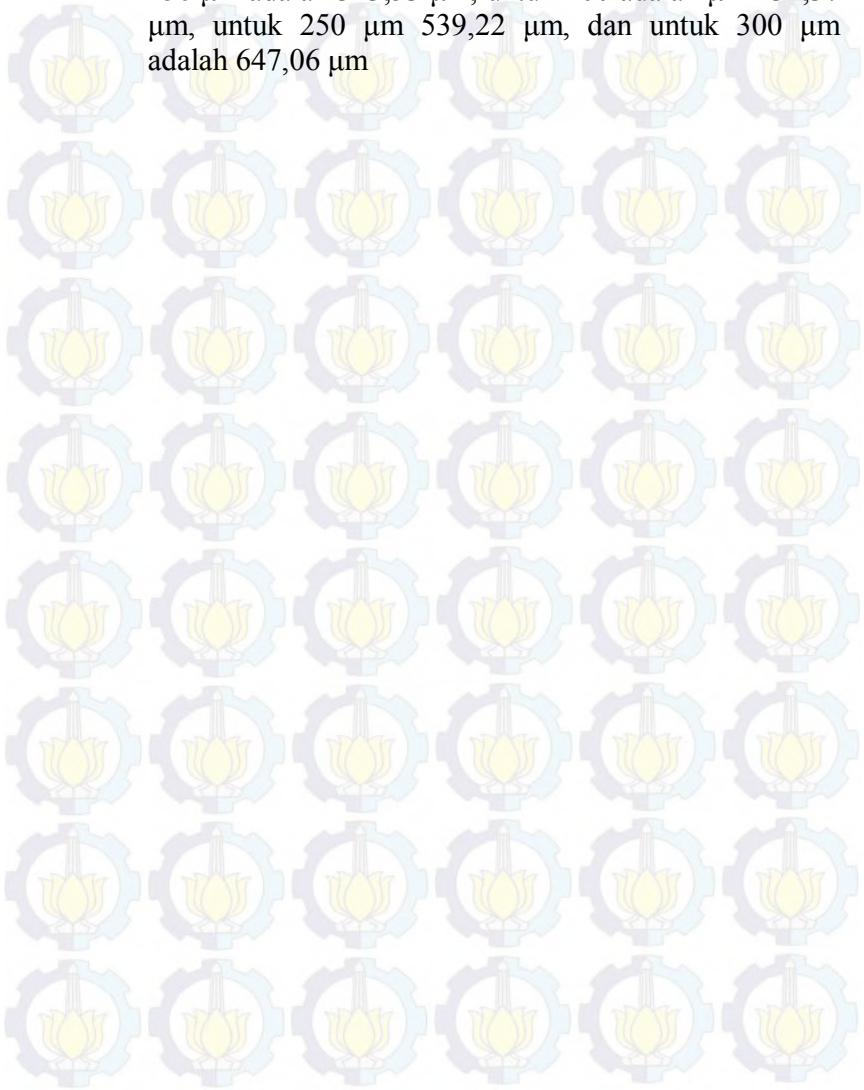
$$WFT = \frac{DFT \times (100 + \text{percent added thinner})}{\text{Percent Solids by Volume}}$$

$$WFT = \frac{300 \times (100 + 10)}{51}$$

$$WFT = \frac{33000}{51}$$

$$WFT = 647,06$$

Jadi Nilai Wet Film Thickness untuk Dry Film Thickness 150 μm adalah 323,53 μm , untuk 200 adalah μm 431,37 μm , untuk 250 μm 539,22 μm , dan untuk 300 μm adalah 647,06 μm



3. Perhitungan Kebutuhan Arus dan Anoda

1. Tahanan Baja

$$\begin{aligned} R_L &= \frac{\text{Tahanan Jenis Baja}}{\text{Luas Penampang Sampel}} \\ &= \frac{2,2 \times 10^{-7}}{4 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^{-2}} = 11 \text{ ohm/m} \end{aligned}$$

2. Kebocoran Konduktan Lapis Lindung

$$\begin{aligned} R_T &= \frac{\text{Keliling Penampang Sampel}}{\text{Resistansi Lapis Lindung}} = \frac{1,08 \times 10^{-1}}{12} \\ &= 9 \times 10^{-3} \text{ s/m} \end{aligned}$$

3. Konstanta Ateunasi

$$\alpha = \sqrt{R_L \times R_T} = \sqrt{11 \times \left(\frac{1,08 \times 10^{-1}}{12} \right)} = 0,3149$$

4. Tahanan Karakteristik

$$rp = \sqrt{\frac{R_L}{R_T}} = 1222,22$$

5. Pergeseran Potensial Sampel di Drainage Point

$$\begin{aligned} E_o &= E \times \cosh \alpha \times X \\ E_o &= -0,5 \times \cosh \alpha \times 0,1 \end{aligned}$$

$$E_o = -1,1V$$

6. Keperluan Arus Proteksi

$$I_o = \frac{E_o}{r_p} \times \tanh \alpha \times X$$

$$I_o = \frac{E_o}{r_p} \times \tanh \alpha \times 0,1$$

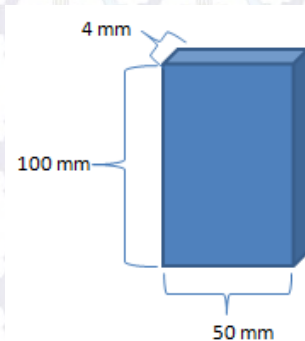
$$I_o = 0,00003A$$

7. Kebutuhan Luas Anoda

$$A = \frac{\text{Keperluan Arus Proteksi}}{\text{Densitas Arus Anoda}} = \frac{I_o}{I_a} = \frac{3 \times 10^{-5}}{10} = 3 \times 10^{-6} m^2$$

Keterangan :

1. Ukuran Sampel : 100x50x4 mm



2. Tahanan Jenis Baja API 5L Grade B : $2,2 \times 10^{-7}$
3. Resistansi Lapis Lindung Epoksi : 12
4. Densitas Arus Anoda Grafit : $10 A/m^2$

LAMPIRAN C

1. Data Hasil Uji Spektrofotometri



barata indonesia PT. (PERSERO)

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No :	API 5L Grade B	Customer :	ITS
Furnace :	NA	Name of Equipment :	NA
Heat No :	NA	Order No :	NA
Lab. No :	28102015/00	Material :	

Spektrosanalyzer Foundry-MASTER									
Grade :									
Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	
1 99,1	0,116	0,222	0,378	0,0289	0,0076	0,0331	0,0027	0,0073	
Ave 99,1	0,116	0,222	0,378	0,0289	0,0076	0,0331	0,0027	0,0073	
Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	
1 0,0023	0,0048	0,0092	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0182	< 0,0025	0,0013	
Ave 0,0023	0,0048	0,0092	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0182	< 0,0025	0,0013	
B	Ca	Zr	Bi	As	N	Sb			
1 < 0,0003	0,0006	< 0,0015	0,0140	0,0028	0,0296	< 0,0030			
Ave < 0,0003	0,0006	< 0,0015	0,0140	0,0028	0,0296	< 0,0030			

Town
Gresik

Date
28/10/2015

Tester
M.Vift Susanto

QC. Manager
Bery Andika ST

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

barata indonesia
PT. (PERSERO)

2. Data Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan

No	Spesimen	Nilai Kekasaran Permukaan (mikron)	Rata-rata Kekasaran Permukaan (mikron)
1	Spesimen 1	35	98,33
		80	
		180	
2	Spesimen 2	45	110
		210	
		75	
3	Spesimen 3	120	113,33
		80	
		140	
4	Spesimen 4	380	173,33
		110	
		30	
5	Spesimen 5	150	138,33
		190	
		75	
6	Spesimen 6	320	181,66
		180	
		45	
7	Spesimen 7	75	90
		160	
		35	
8	Spesimen 8	30	50
		80	
		40	
9	Spesimen 9	145	196,67
		230	
		215	
10	Spesimen 10	20	61,67
		100	
		65	
11	Spesimen 11	150	138,33
		145	
		120	
12	Spesimen 12	80	55
		40	
		45	
13	Spesimen 13	70	71,67
		25	
		120	
14	Spesimen 14	65	50

		40	
		45	
15	Spesimen 15	145	76,67
		30	
		55	
16	Spesimen 16	10	28,33
		45	
		30	
17	Spesimen 17	220	120
		65	
		75	
18	Spesimen 18	345	190
		165	
		60	
19	Spesimen 19	70	81,67
		85	
		90	
20	Spesimen 20	340	195
		135	
		110	
21	Spesimen 21	95	90
		60	
		115	
22	Spesimen 22	370	246,67
		225	
		145	
23	Spesimen 23	85	93,33
		30	
		165	
24	Spesimen 24	35	38,33
		10	
		70	
25	Spesimen 25	40	46,67
		40	
		60	
26	Spesimen 26	30	58,33
		90	
		55	
27	Spesimen 27	125	106,67
		100	
		95	
28	Spesimen 28	45	53,33
		60	
		55	
29	Spesimen 29	10	36,67
		65	

		35	
30	Spesimen 30	70	71,67
		85	
		60	
		75	
31	Spesimen 31	160	90
		35	
		40	
32	Spesimen 32	55	40
		25	
		180	
33	Spesimen 33	35	100
		85	
		35	
34	Spesimen 34	65	46,67
		40	
		330	
35	Spesimen 35	145	195
		110	
		65	
36	Spesimen 36	130	93,33
		85	
		70	
37	Spesimen 37	25	71,67
		120	
		35	
38	Spesimen 38	35	40
		50	
		155	
39	Spesimen 39	190	140
		75	
		30	
40	Spesimen 40	20	48,33
		95	
Total Nilai rata-rata Kekasaran Sampel			98,17

3. Data Hasil Pengujian Adhesi Awal

No	DFT (Mikron)	Uji Kekuatan Lekat 1 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Uji Kekuatan Lekat 2 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Uji kekuatan Lekat 3 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Rata-rata Kekuatan Lekat (Mpa)	Rata-rata Adhesive Failure	Rata-rata Cohesive Failure
1	150	6,58	22,664	77,336	3,81	31,517	68,483	3,63	36,983	63,017	4,673333333	30,388	69,612
2	200	5,11	19,816	80,184	4,66	22,475	77,525	4,04	12,506	87,494	4,603333333	18,26566667	81,73433333
3	250	5,37	23,9	76,1	4,17	22,333	77,667	5,39	2,901	97,099	4,976666667	16,378	83,622
4	300	5,39	7,152	92,848	7,21	12,836	87,164	6,19	12,633	87,367	6,263333333	10,87366667	89,12633333

4. Data Hasil Pengujian Salt Spray

No	DFT (Mikron)	Panjang	Lebar	Tebal	Luas	Lebar Croscut Awal (mm)	Lebar Croscut Akhir (mm)	Pelebaran	Rata - rata Pelebaran
1	150	9,8	4,8	0,3	102,417	1	1,285	0,285	0,216
							1,211	0,211	
							1,152	0,152	
2	200	9,9	5	0,3	107,517	1	1,233	0,233	0,223
							1,211	0,211	
							1,225	0,225	
3	250	10	4,9	0,3	106,517	1	1,099	0,099	0,092
							1,057	0,057	
							1,12	0,12	
4	300	10,2	5	0,3	110,697	1	1,129	0,129	0,166666667
							1,126	0,126	
							1,245	0,245	

5. Data Hasil Pengujian Permeabilitas

No	DFT (Mikron)	Tegangan Proteksi (Volt)	Rating Blister	Jumlah Blister	Arus Awal (mA)	Arus Akhir (mA)	pH Awal	pH Minggu 1	pH Minggu 2	pH Minggu 3	pH Minggu 4(akhir)
1	150	0	4	Few	0	0	6,9	7,1	7	7	7,1
		-0,85	6	Few	3,2	4,6	7,3	8,4	8,5	8,7	8,7
		-1,1	4	Few	45	57	7,3	8,6	9	9	8,8
		-1,3	2	Few	120	128	7,3	9,6	9,5	9,6	9,5
		-1,5	2	Medium Dense	210	230	7,1	10,4	10,7	10,7	10,8
2	200	0	4	Few	0	0	6,9	7,1	7	7	7,1
		-0,85	4	Few	2,3	5,4	7	8,4	8,4	8,4	8,5
		-1,1	4	Few	47	58	7,2	8,7	8,9	9,2	9,3
		-1,3	2	Few	112	134	7,3	9,4	9,8	9,7	9,7
		-1,5	2	Dense	195	235	7,2	10,5	10,5	10,5	10,7
3	250	0	6	Few	0	0	6,9	7,1	7	7	7,1
		-0,85	4	Few	4,2	4,9	7	8,3	8,5	8,6	8,5
		-1,1	4	Few	54	67	7,3	9	9,2	9	9
		-1,3	2	Few	121	118	7	9,6	9,7	10	10
		-1,5	2	Medium Dense	253	242	7,1	10,8	10,6	10,5	10,5
4	300	0	4	Few	0	0	6,9	7,1	7	7	7,1
		-0,85	4	Few	3,3	5,3	7,3	8,4	8,3	8,8	8,7
		-1,1	4	Few	46	55	7,2	8,7	8,7	8,7	9
		-1,3	2	Few	128	131	7,1	9,3	9,6	9,5	9,8
		-1,5	2	Medium Dense	246	249	7,2	10,2	10,4	10,8	10,9

6. Data Hasil Pengujian Cathodic Disbonding

a. Diameter Disbonding dengan Tegangan Proteksi Tanpa Arus

No	DFT (Mikron)	Diameter Disbonding (mm)	Rata-rata Diameter Disbonding (mm)
1	150	3,9	3,87
		3,9	
		3,8	
2	200	3,4	3,27
		3,1	
		3,3	
3	250	4,8	4,13
		3,7	
		3,9	
4	300	4,5	3,7
		3,3	
		3,3	

b. Diameter Disbonding dengan Tegangan Proteksi -0,85 Volt

No	DFT (Mikron)	Diameter Disbonding (mm)	Rata-rata Diameter Disbonding (mm)
1	150	7	8,33
		10	
		8	
2	200	10	11,67
		13	
		12	
3	250	7	7,33
		7	
		8	
4	300	8	10,33
		11	
		12	

c. Diameter Disbonding dengan Tegangan Proteksi -1,1 Volt

No	DFT (Mikron)	Diameter Disbonding (mm)	Rata-rata Diameter Disbonding (mm)
1	150	13	15
		16	
		16	
2	200	11	12
		12	
		13	
3	250	14	14,67
		14	
		16	
4	300	16	15,67
		15	
		16	

d. Diameter Disbonding dengan Tegangan Proteksi -1,3 Volt

No	DFT (Mikron)	Diameter Disbonding (mm)	Rata-rata Diameter Disbonding (mm)
1	150	15	19,67
		23	
		21	
2	200	20	20,33
		20	
		21	
3	250	21	22
		22	
		23	
4	300	26	25,33
		24	
		26	

e. Diameter Disbonding dengan Tegangan Proteksi -1,5 Volt

No	DFT (Mikron)	Diameter Disbonding (mm)	Rata-rata Diameter Disbonding (mm)
1	150	27	32
		29	
		40	
2	200	22	27,67
		28	
		33	
3	250	20	28,67
		28	
		38	
4	300	32	29,33
		23	
		33	

f. Data Pengujian Cathodic Disbonding

No	DFT (Mikron)	Tegangan Proteksi (Volt)	Diameter Disbonding (mm)	Arus Awal (mA)	Arus Akhir (mA)	pH Awal	pH Minggu 1	pH Minggu 2	pH Minggu 3	pH Minggu 4(akhir)
1	150	0	3,866666667	0	0	6,9	7	7,1	7	7
		-0,85	8,333333333	1,1	1,1	7,4	8,3	8,3	8,5	8,6
		-1,1	15	40	42	7,3	8,7	9	9,2	9,2
		-1,3	19,66666667	100	110	7,2	10	10,3	10,2	10,5
		-1,5	32	195	213	7,1	10,4	10,7	10,5	10,8
2	200	0	3,266666667	0	0	6,9	7	7,1	7	7
		-0,85	11,66666667	1,4	1,1	7,4	8,5	8,4	8,4	8,5
		-1,1	12	41	42	7,3	8,7	9	9,5	9,4
		-1,3	20,33333333	108	110	7	9,8	9,7	10,2	10,1
		-1,5	27,66666667	230	242	7,2	10,5	10,7	10,9	11
3	250	0	4,133333333	0	0	6,9	7	7,1	7	7
		-0,85	7,333333333	1,9	2,3	7,4	8,3	8,4	8,4	8,6
		-1,1	14,66666667	43	47	7	8,9	8,9	9	9
		-1,3	22	104	117	7	10	10	10,1	10,4
		-1,5	28,66666667	247	245	7,3	10,4	10,4	10,5	10,8
4	300	0	3,7	0	0	6,9	7	7,1	7	7
		-0,85	10,33333333	3,3	3,4	7,3	8,4	8,4	8,4	8,5
		-1,1	15,66666667	44	45	7,2	9	9,3	9,4	9,2
		-1,3	25,33333333	110	121	7,1	9,5	9,8	10,1	10,1
		-1,5	29,33333333	275	283	7,1	10,8	10,8	11	11

7. Data Hasil Pengujian Adhesi Pasca Pengujian Cathodic Disbonding

a. Tegangan Proteksi Tanpa Arus

No	DFT (Mikron)	Uji Kekuatan Lekat 1 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Uji Kekuatan Lekat 2 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Uji kekuatan Lekat 3 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Rata-rata Kekuatan Lekat (Mpa)	Rata-rata Adhesive Failure	Rata-rata Cohesive Failure
1	150	6,47	32,025	67,975	3,21	35,501	64,499	2,15	38,982	61,018	3,943333333	35,50266667	64,49733333
2	200	4,46	20,948	79,052	3,85	6,315	93,685	2,23	51,202	48,798	3,513333333	26,155	73,845
3	250	4,73	11,597	88,403	2,49	56,618	43,382	2,58	6,287	93,713	3,266666667	24,834	75,166
4	300	6,43	29,188	70,812	3,11	5,432	94,568	2,94	3,318	96,682	4,16	12,646	87,354

b. Tegangan Proteksi -0,85 Volt

No	DFT (Mikron)	Uji Kekuatan Lekat 1 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Uji Kekuatan Lekat 2 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Uji kekuatan Lekat 3 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Rata-rata Kekuatan Lekat (Mpa)	Rata-rata Adhesive Failure	Rata-rata Cohesive Failure
1	150	2,57	41,043	58,957	2,55	32,245	67,755	5,93	44,776	55,224	3,683333333	39,35466667	60,64533333
2	200	3,03	41,839	58,161	2,62	43,657	56,343	5,17	35,693	64,307	3,606666667	40,39633333	59,60366667
3	250	2,97	35,852	64,148	3,98	14,567	85,433	3,76	28,986	71,014	3,57	26,46833333	73,53166667
4	300	2,98	19,611	80,389	4,79	12,818	87,182	3,1	13,111	86,889	3,623333333	15,18	84,82

c. Tegangan Proteksi -1,1 Volt

No	DFT (Mikron)	Uji Kekuatan Lekat 1 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Uji Kekuatan Lekat 2 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Uji kekuatan Lekat 3 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Rata-rata Kekuatan Lekat (Mpa)	Rata-rata Adhsive Failure	Rata-rata Cohesive Failure
1	150	1,27	51,466	48,534	4,59	29,424	70,576	6,91	47,581	52,419	4,256666667	42,82366667	57,17633333
2	200	1,66	38,455	61,545	5,29	34,807	65,193	5,68	33,839	66,161	4,21	35,70033333	64,29966667
3	250	2,77	24,317	75,683	2,88	29,578	70,422	3,55	28,62	71,38	3,066666667	27,505	72,495
4	300	5,75	26,333	73,667	4,7	8,777	91,223	3,84	36,16	63,84	4,763333333	23,75666667	76,24333333

d. Tegangan Proteksi -1,3 Volt

No	DFT (Mikron)	Uji Kekuatan Lekat 1 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Uji Kekuatan Lekat 2 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Uji kekuatan Lekat 3 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Rata-rata Kekuatan Lekat (Mpa)	Rata-rata Adhsive Failure	Rata-rata Cohesive Failure
1	150	3,22	43,873	56,127	1,62	74,056	25,944	1,09	44,099	55,901	1,976666667	54,00933333	45,99066667
2	200	3,02	44,605	55,395	4,52	41,385	58,615	1,66	21,323	78,677	3,066666667	35,771	64,229
3	250	2,29	37,021	62,979	4,53	38,371	61,629	6,55	22,352	77,648	4,456666667	32,58133333	67,41866667
4	300	4,17	4,036	95,964	2,65	43,956	56,044	2,86	41,357	58,643	3,226666667	29,783	70,217

e. Tegangan Proteksi -1,5 Volt

No	DFT (Mikron)	Uji Kekuatan Lekat 1 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Uji Kekuatan Lekat 2 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Uji kekuatan Lekat 3 (Mpa)	Adhesive Failure	Cohesive Failure	Rata-rata Kekuatan Lekat (Mpa)	Rata-rata Adhesive Failure	Rata-rata Cohesive Failure
1	150	4,7	65,88	34,12	1,33	52,231	47,769	2,76	48,069	51,931	2,93	55,39333333	44,60666667
2	200	2,32	35,44	64,56	3,09	45,037	54,963	2,29	41,543	58,457	2,566666667	40,67333333	59,32666667
3	250	3,15	35,946	64,054	2,18	19,925	80,075	3,95	44,839	55,161	3,093333333	33,57	66,43
4	300	3,22	30,101	69,899	3,57	42,579	57,421	6,23	24,534	75,466	4,34	32,40466667	67,59533333

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Donny Prasetya Atmaji, merupakan anak pertama dari pasangan Teguh Atmaji dan Lina Marlina, lahir di Karawang, 22 Maret 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal bermula di TKIT As-Salam Citeureup, SD Negeri Citeureup 4, SMP Negeri 3 Bogor, dan SMA Negeri satu Bogor, setelah lulus dari Sekolah Menengah Atas tahun 2012, penulis diterima di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS Surabaya. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS sebagai Staff departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa pada tahun 2013-2014 dan Kepala Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa pada tahun 2014-2015. Selain itu penulis juga aktif sebagai Pemandu Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa FTI-ITS. Dalam bidang akademis penulis aktif sebagai asisten laboratorium kimia analitik dan Grader *Heat Treatment*, Penulis juga pernah mengikuti Pekan Ilmiah Mahasiswa Tingkat Nasional XXVI-Mataram tahun 2013. Dalam Tugas Akhir ini penulis mengambil bidang Studi korosi dan Analisa Kegagalan Material. Penulis Memiliki email yang dapat dihubungi yaitu donnyprasetyaatmaji10@gmail.com